PROBLEMAS DE ELECTROTECNIA Y DE ELECTRÔNICA INDUSTRIAL

EDITORIAL MIR · MOSCU

В. ПЕТРОВ, Л. ЩЛЯПИНТОХ

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ С ОСНОВАМИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ВЫСШАЯ ШКОЛА» МОСКВА

На испанском языке

V. PETROV, L. SHLIAPINTOJ

PROBLEMAS DE ELECTROTECNIA Y DE ELECTRONICA INDUSTRIAL

Traducido del ruso por el ingeniero
JOSÉ PUIG TORRES

EDITORIAL MIR
Moscú 1971

CDU 621.3+621.38(076.1)(071.2)-60

Impreso en la URSS
Derechos reservados

INDICE

Preámbulo 5

Primera parte

ELECTROTECNIA

I. Campo eléctrico 7
II. Condensadores 10
III. Resistencia eléctrica y conductividad 18
IV. Conexión de resistencias 24
V. Ley de Ohm 29
VI. Leyes de Kirchhoff 37
VII. Trabajo, potencia de la corriente y rendimiento . . . 44
VIII. Efecto térmico de la corriente 49
IX. Efecto químico de la corriente eléctrica 51
X. Electromagnetismo 59
XI. Inducción electromagnética 68
XII. Corriente alterna monofásica 73
XIII. Corriente alterna trifásica 99
XIV. Mediciones eléctricas 104
XV. Transformadores 112
XVI. Motores asincrónicos 117
XVII. Máquinas de corriente continua 120

Segunda parte

Fundamentos de Electrónica Industrial

XVIII. Movimiento de los electrones en los campos eléctrico y magnético 124
XIX. Emisión electrónica y propiedades del cátodo . . . 127
XX. Tubos electrónicos 130
XXI. Aparatos iónicos 141

XXII. Diodos semiconductores 149
XXIII. Triodos semiconductores 152
XXIV. Células fotoeléctricas 158
XXV. Rectificación de la corriente alterna 163
XXVI. Amplificadores de baja frecuencia 172
XXVII. Generadores de oscilaciones eléctricas 182
XXVIII. Relés 186

Resultados 198

FE DE ERRATAS

Pàg.	Línea	Dice	Debe decir
51	—14	$r_b = {}_0n$,	$r_b = r_0 n$,
174	1	amplific	amplificador, en W;
174	2	la fuente	la fuente de alimentación, en W.
174	3	resiste	resistencia (fig. 81), la tensión

PREAMBULO

La asimilación del material didáctico referente a la Electrotecnia y Electrónica Industrial depende fundamentalmente de saber resolver sus problemas. La solución de estos problemas permite la asimilación consciente y sólida de las leyes y fenómenos, ayuda a comprender la dependencia entre las distintas magnitudes, habitúa a los alumnos a utilizar correctamente las unidades de medida, les ayuda a consolidar, interpretar y recordar mejor las fórmulas del curso de Electrotecnia y Electrónica Industrial.

El objetivo de la publicación de la presente colección de problemas reside en prestar ayuda a los alumnos de las escuelas técnicas y laborales que estudian Electrotecnia y Electrónica Industrial.

Los problemas del presente compendio están distribuidos por capítulos que corresponden a los temas del programa docente. En cada capítulo se describen sucintamente los conocimientos teóricos necesarios y se dan las fórmulas fundamentales.

En este libro se han incluido problemas relacionados con las cuestiones generales de la Electrotecnia y Electrónica Industrial, asimismo problemas de carácter práctico.

No existe una receta única que permita resolver los problemas que contiene este compendio. Los problemas se distinguen por sus condiciones y por las diferencias en sus datos. Por lo tanto, los métodos de solución de los problemas también serán distintos. No obstante, para su solución es de recomendarse según el orden siguiente:

leer las condiciones del problema y poner en claro si se comprenden todos los términos;

establecer las magnitudes conocidas y las que se deben definir; escribir los datos numéricos de las condiciones del problema y de sus unidades dimensionales;

proyectar el esquema (diagrama vectorial), determinar las unidades a utilizar en la solución del problema;

escoger las adecuadas fórmulas y, si es necesario, realizar las transformaciones para definir la incógnita;

hacer los cálculos de acuerdo con la fórmula.

No es necesario hacer los cálculos hasta la quinta o sexta cifra significativa, pero a la vez tampoco se deben redondear groseramente los resultados, particularmente por lo que toca a cálculos intermedios. Basta limitarse a la primera y segunda cifras significativas.

Al solucionar los problemas conviene tomar en consideración que resulta más conveniente hacer uso de quebrados decimales y no de los ordinarios.

Antes de proceder a la solución de los problemas es necesario revisar de nuevo la parte correspondiente de la asignatura.

PRIMERA PARTE

Electrotecnia

I. CAMPO ELECTRICO

Ley de Coulomb. Potencial eléctrico e intensidad del campo.

Conforme a la ley de Coulomb la fuerza de interacción de dos cargas eléctricas puntiformes es directamente proporcional al producto de la cantidad de electricidad en estas cargas, inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas y depende del medio en el cual se hallan las cargas,

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_a r^2},$$

siendo F la fuerza de interacción de las cargas puntiformes, en N *;
q_1 y q_2 la cantidad de electricidad en las cargas, en C **;
r la distancia entre las cargas, en m;
ε_a la permitividad absoluta del medio, en F/m.

La magnitud $\varepsilon_a = \varepsilon\varepsilon_0$,

siendo ε la permitividad relativa: una magnitud adimensional;
ε_0 una constante eléctrica igual a la permitividad absoluta del vacío,

$$\varepsilon_0 = 8{,}86 \cdot 10^{-12} F/m.$$

La permitividad relativa $\varepsilon = \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_0}$ puede calcularse por la fórmula

$$\varepsilon = \frac{F_{vac}}{F_{med}},$$

siendo F_{vac} la fuerza de interacción de las cargas eléctricas en el vacío, en N;
F_{med} la fuerza de interacción de las cargas eléctricas en cualquier medio, en N.

Permitividad relativa de los materiales

Aire	1	Micalex	7—9
Mármol	7,5—10	Baquelita	3,8—5
Parafina	2,1—2,2	Micarta A y B	7—8
Mica	6—7	Carbolito	3—5
Ebonita	2,5—3	Batista barnizada	3,5—5
Papel parafinado	2,2	Vidrio orgánico	3,2—3,6
Porcelana	5,5—6,5	Goma en hojas	2,6—3,5
Poliestireno	1,05	Vidrio	5,5—10

* 1 N = 102 gf.
** 1 C = $6{,}3 \cdot 10^{18}$ cargas de electrón.

La razón del trabajo consumido al transportar una carga eléctrica de 1 C desde un punto dado del campo eléctrico hasta el infinito, se llama potencial en este punto:

$$\varphi = \frac{A}{q},$$

siendo φ el potencial, en V;
A el trabajo, en J;
q la cantidad de electricidad, en C.

Al transportar una carga eléctrica desde un punto de un campo con potencial V_1 hasta un punto de otro campo con potencial V_2 se realiza el trabajo

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2),$$

siendo $(\varphi_1 - \varphi_2)$ la diferencia de potenciales, en V.

La intensidad de un campo eléctrico se define como la razón de la fuerza con la que el campo actúa sobre la carga eléctrica insertada en sus límites, a la magnitud de esta carga:

$$E = \frac{F}{q},$$

siendo E la intensidad del campo eléctrico, en V/m;
F la fuerza con la que el campo actúa sobre la carga, en N;
q la cantidad de electricidad, en C.

La resistencia eléctrica que caracteriza al poder del dieléctrico de oponer resistencia a la perforación, se determina de acuerdo con a fórmula

$$E_{res} = \frac{U}{d},$$

siendo E_{res} la resistencia eléctrica, en V/m;
d el espesor del dieléctrico, en m;
U la tensión, a la cual se perfora el dieléctrico, en V.

Tabla 1

Resistencia eléctrica de los dieléctricos

Dieléctrico	Resistencia eléctrica del dieléctrico, en kV/m
Aire	3000
Papel para cable	6 000— 9 000
Mármol	2 000— 3 000
Parafina	15 000— 50 000
Mica	120 000—200 000
Porcelana	6 000— 10 000
Vidrio	10 000— 40 000

Problemas

1. Entre las cargas eléctricas $q_1=2\cdot10^{-6}$ C y $q_2=4{,}43\cdot10^{-6}$ C que se hallan a la distancia de 0,5 m, se ha insertado mica ($\varepsilon=6$). Calcular la fuerza de interacción de las cargas indicadas.

Solución. Poniendo en la fórmula $F=\frac{q_1\,q_2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2}$ los valores de las magnitudes conocidas, obtenemos

$$F=\frac{2\cdot10^{-6}\cdot4{,}43\cdot10^{-6}}{4\cdot3{,}14\cdot8{,}86\cdot10^{-12}\cdot6\cdot0{,}5^2}=0{,}053\,N.$$

2. Determinar la distancia entre las cargas $q_1=40\cdot10^{-6}$ C y $q_2=278\cdot10^{-6}$ C, si la fuerza de interacción de estas cargas es $F=5$ N y entre ellas se ha colocado vidrio ($\varepsilon=10$).

3. La fuerza de interacción de dos cargas eléctricas que se hallan en el aire a la distancia de 0,08 m es igual a 0,5 N. Una de las cargas es $q_1=556\cdot10^{-12}$ C. Determinar la magnitud de la otra carga eléctrica.

Solución. De la fórmula $F=\frac{q_1\,q_2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r_2}$ se deduce que $q_2=\frac{F4\pi\varepsilon_0\varepsilon r_2}{q_1}$. Sustituyendo en esta fórmula las magnitudes conocidas, obtenemos

$$q_2=\frac{0{,}5\cdot4\cdot3{,}14\cdot8{,}86\cdot10^{-12}\cdot0{,}08^2}{556\cdot10^{-12}}=0{,}0006\text{C}.$$

4. La fuerza de interacción de las cargas eléctricas en el vacío es $F_{vac}=119{,}9\cdot10^{-12}$ N, en un medio es $F_{med}=54{,}5\cdot10^{-12}$ N. Determinar la permitividad relativa del material del medio.

5. La permitividad relativa del micalex es $\varepsilon=9$. Determinar la permitividad absoluta ε_a de este material.

6. Determinar el potencial en el punto de un campo eléctrico, en el cual se ha insertado una carga $q=3\cdot10^{-3}$ C, si en este caso las fuerzas del campo eléctrico han realizado un trabajo $A=0{,}006$ J.

7. Una carga eléctrica $q=0{,}003$ C está colocada en el punto de un campo eléctrico de potencial $\varphi=12$ V. ¿Cuál es el trabajo realizado por las fuerzas de este campo, al llevar la carga a este punto?

8. El potencial de un punto de campo es $\varphi=4$ V. ¿Qué cantidad de electricidad posee la carga eléctrica,

si para transportarla a este punto de campo se ha realizado un trabajo $A=0{,}00012$ J?

9. Cuál será la intensidad del campo eléctrico, si éste actúa sobre una carga $q=0{,}0015$ C con una fuerza $F=0{,}0009$ N.

10. La intensidad de un campo eléctrico es igual a 0,2 V/m. ¿Con qué fuerza actúa este campo sobre la carga $q=0{,}0018$ C?

11. Determinar la magnitud de la carga eléctrica en presencia de un campo eléctrico cuya intensidad es $E=0{,}9$ V/m, si el campo actúa sobre la carga con una fuerza de 0,27 N.

12. Una placa de mármol quedó perforada durante su ensayo a una tensión de 2 000 V. ¿Cuál es el espesor de esta placa?

Solución. De la fórmula $E_{res}=\frac{U}{d}$ se deduce que el espesor del material es $d=\frac{U}{E_{res}}$. Puesto que la resistencia eléctrica del mármol es igual a 2 000 000 V/m, $d=\frac{2\,000}{2\,000\,000}=0{,}001$ m, ó 1 mm.

13. Determinar la resistencia eléctrica del papel para cable, si la probeta de 0,01 cm de espesor se perfora a una tensión de 600 V.

14. Para desplazar una carga $q=0{,}01$ C, la pila de una linterna de bolsillo realiza un trabajo igual a 0,045 J. Determinar la diferencia de potencial de esta pila.

15. Determinar la tensión a la cual se perforará un entrehierro de 0,1 cm. La resistencia eléctrica del aire es de 3 000 000 V/m.

16. Determinar el espesor del entrehierro perforado a una tensión de 127, 220 y 380 V.

II. CONDENSADORES

La capacidad de un condensador se determina de acuerdo con la fórmula

$$C=\frac{q}{U},$$

siendo C la capacidad del condensador, en F;
q la cantidad de electricidad, en C;
U la tensión en las placas, en V.

La capacidad de un condensador plano con dos placas se calcula de acuerdo con la fórmula

$$C = \frac{\varepsilon_a S}{d} \text{ F},$$

siendo ε_a la permitividad absoluta del dieléctrico, en F/m;
S el área de una placa, en m²;
d la distancia entre las placas, en m.

La capacidad de un condensador se puede calcular también por la fórmula siguiente:

$$C = \frac{\varepsilon S}{d} \cdot 0{,}09 \text{pF},$$

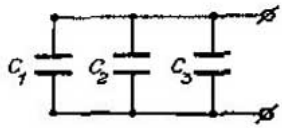


Fig. 1

siendo ε la permitividad relativa del dieléctrico;
S el área de una placa, en cm²;
d la distancia entre las placas, en cm.

La capacidad de un condensador plano que tiene n placas se calcula por la fórmula

$$C = \frac{\varepsilon S (n-1)}{d} \cdot 0{,}09 \text{pF}.$$

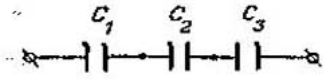


Fig. 2

Si los condensadores se han unido (conectado) en **paralelo** (fig. 1) su capacidad total es igual a

$$C_{tot} = C_1 + C_2 + \cdots + C_n.$$

Si los condensadores, conectados en paralelo, tienen iguales capacidades, su capacidad total es

$$C_{tot} = C \cdot n.$$

Si los condensadores se han conectado **en serie** (fig. 2), su capacidad total se puede calcular de acuerdo con la fórmula

$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n}.$$

Si los condensadores se han conectado en serie y sus capacidades son iguales, tendremos que su capacidad total será

$$C_{tot} = \frac{C}{n}.$$

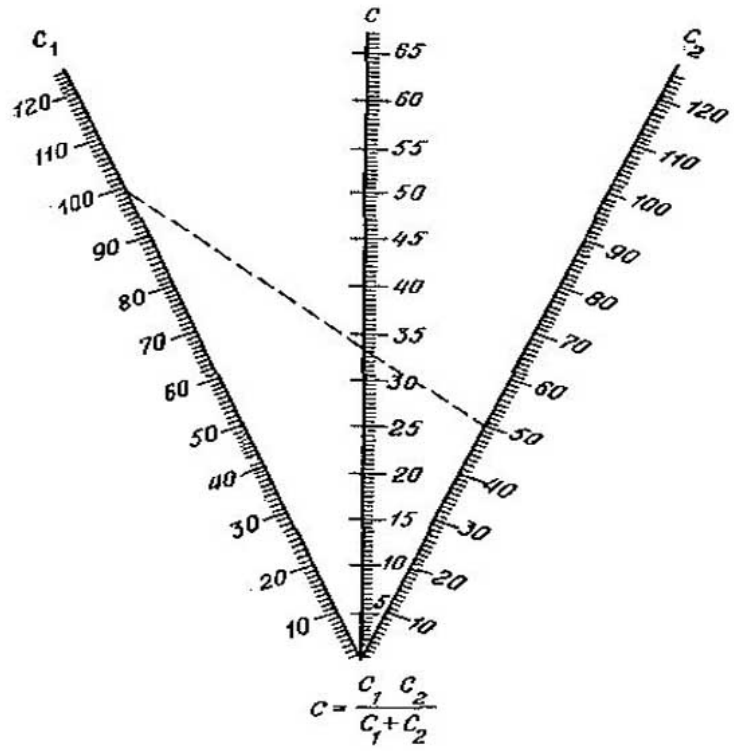


Fig. 3

La capacidad de dos condensadores, conectados en serie, se puede calcular según la fórmula

$$C_{tot} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}.$$

En la fig. 3 aparece el nomograma construido para esta ecuación. Con ayuda de este nomograma se puede, sin hacer cálculos, determinar la capacidad total de dos condensadores conectados en serie, si su capacidad se encuentra en los límites de 10 a 120 pF.

La tensión en distintos condensadores, unidos en serie, es inversamente proporcional a su capacidad:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{U_2}{U_1}.$$

La tensión total en los condensadores unidos en serie es igual a

$$Y_{tot} = Y_1 + Y_2 + \cdots Y_n.$$

Si los condensadores se han conectado en **serie-paralelo** (fig. 4), la capacidad total es

$$C_{tot} = C_3 + C_4 + \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}.$$

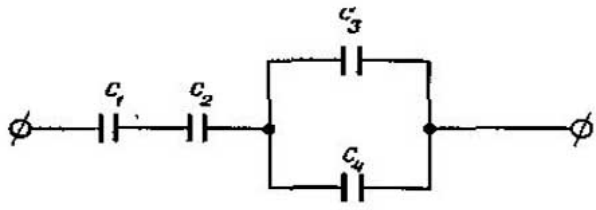


Fig. 4

La constante de tiempo del circuito, que caracteriza el tiempo de carga y descarga del condensador, se determina por la fórmula

$$\tau = rC,$$

siendo τ la constante de tiempo del circuito, en seg;
r la resistencia del circuito, en Ω;
C la capacidad, en F.

La energía del campo eléctrico de un condensador cargado se calcula por la fórmula

$$A = \frac{CU^2}{2},$$

siendo A la energía eléctrica, en J;
C la capacidad del condensador, en F;
U la tensión, en V.

Es sabido que $C = \frac{q}{U}$. Sustituyendo esta expresión en la fórmula $A = \frac{CU^2}{2}$, obtenemos

$$A = \frac{qU^2}{2U} = \frac{qU}{2}.$$

Puesto que $U = \frac{q}{C}$, la energía de un condensador cargado se puede calcular según la fórmula

$$A = \frac{qq}{2C} = \frac{q^2}{2C}.$$

17. Calcular la capacidad de un condensador que se cargó por una fuente de corriente con tensión de 500 V. La carga del condensador es de 0,005 C.

18. Determinar la carga eléctrica de un condensador de 2μ F de capacidad, si la tensión entre sus placas es igual a 200 V.

19. La carga eléctrica de un condensador de 2 μF de capacidad es igual a 0,0008 C. Calcular la tensión en el condensador.

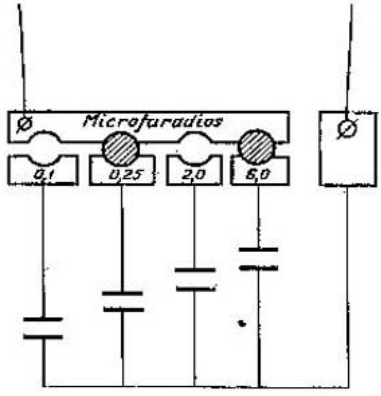


Fig. 5

20. Determinar la capacidad de uno de los dos condensadores conectados en paralelo, si la capacidad del otro es igual a 500 pF y su capacidad total es de 1 200 pF.

21. La capacidad de cada uno de los condensadores conectados en paralelo es igual a 300 pF. Su capacidad total es de 2 100 pF. Determinar el número de condensadores.

22. En una línea artificial se ha conectado una caja de capacidad. Sus condensadores se conectan mediante clavijas (fichas) (fig. 5). ¿A qué es igual la capacidad de los condensadores conectados?

23. Dos condensadores están conectados en paralelo. La capacidad de uno de ellos es de 50 μF y la capacidad total de éstos es de 50,005 μF. Calcular la capacidad del segundo condensador (en pF).

24. Determinar la capacidad de un circuito telefónico de dos conductores (bifilar) de acero con una longi-

tud de 200 km, si la capacidad de 1 km de esta línea es igual a 0,0063 μF.

25. ¿Cómo hay que conectar los condensadores de capacidades $C_1=2\mu F$, $C_2=0{,}2\mu F$ y $C_3=0{,}05\mu F$, para obtener una capacidad total de 2,25 μF?

26. La capacidad de cada uno de los condensadores, conectados en serie, es igual a 400 pF. Su capacidad total es de 50 pF. Hallar el número de condensadores conectados.

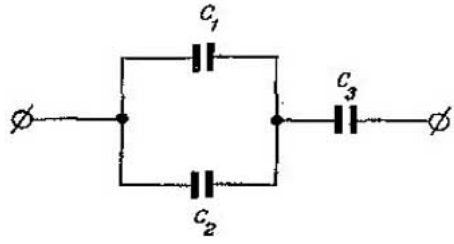


Fig. 6

27. Calcular la capacidad total de cinco condensadores: a) conectados en serie; b) conectados en paralelo. La capacidad de cada condensador es de 1000 pF.

28. Determinar la capacidad del condensador C_1, si, uniendo en serie dos condensadores, su capacidad total es igual a 100 pF y la capacidad $C_2=250$ pF.

29. Tres condensadores están conectados en serie. La capacidad $C_1=125$ pF, $C_2=250$ pF y $C_3=500$ pF. ¿Cuál es su capacidad total?

30. Dos condensadores están conectados en serie. La capacidad de uno es de $C_2=500$ pF y la tensión en sus bornas es de 50 V. Calcular la capacidad C_1, si la carga de los condensadores conectados es de 220 V.

31. Calcular la capacidad total de tres condensadores conectados en serie-paralelo (fig. 6), si $C_1=2$ μF, $C_2=4$ μF y $C_3=3$ μF.

Solución. Los condensadores C_1 y C_2 están conectados en paralelo. Su capacidad total es $C_{1,2}=C_1+C_2=2+4=6$ μF. El condensador C_3 está conectado en serie con los condensadores C_1 y C_2. La capacidad total $C_{1,2,3}=\dfrac{C_{1,2}\,C_3}{C_{1,2}+C_3}=\dfrac{6\cdot 3}{6+3}=\dfrac{18}{9}=2$ μF.

32. Unos condensadores están conectados según el esquema representado en la fig. 7. Calcular su capacidad total, si $C_1=200$ pF, $C_2=200$ pF, $C_3=700$ pF, $C_4=300$ pF, $C_5=600$ pF, $C_6=400$ pF.

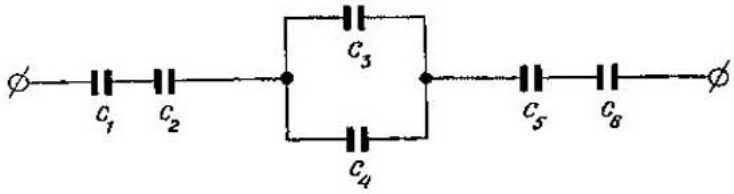


Fig. 7

33. Unos condensadores están conectados según el esquema representado en la fig. 8. Calcular su capacidad total, si $C_1=3$ μF; $C_2=0{,}3$ μF; $C_3=0{,}5$ μF; $C_4=2$ μF; $C_5=6{,}0$ μF; $C_6=3$ μF; $C_7=5$ μF.

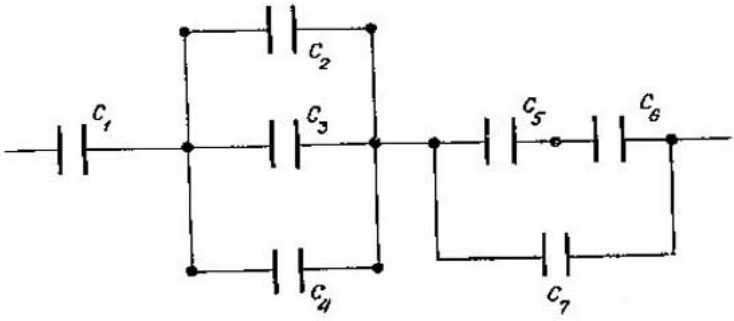


Fig. 8

34. Dos condensadores están conectados en serie a una tensión $U=400$ V. La capacidad de uno de los condensadores es $C_1=500$ pF. La tensión en sus placas se de 300 V. Calcular la capacidad del otro condensador y la capacidad total de los mismos.

Solución. La tensión total en los condensadores es $U_{tot}=400$ V, por consiguiente, la tensión en el otro condensador es $U_2=U_{tot}-U_1=400-300=100$ V.

De la fórmula $\frac{C_1}{C_2}=\frac{U_2}{U_1}$ hallamos que $C_2=\frac{500\cdot 300}{100}=$ $=1500$ pF.

La capacidad total de los dos condensadores conectados en serie es $C_{tot}=\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}=\frac{500\times1500}{500+1500}=\frac{750\,000}{2000}=375$ pF.

35. Determinar la capacidad de un condensador, si éste se ha cargado de una fuente de corriente de 200 V de tensión. La energía del campo eléctrico del condensador es de 0,05 J.

36. La energía de un condensador con 5 μF de capacidad es de 10 J. Determinar la tensión en sus placas.

37. Calcular la capacidad de un condensador de mica que consta de dos placas, si el área de una de las placas es de 15 cm² y la distancia entre éstas, de 0,02 cm.

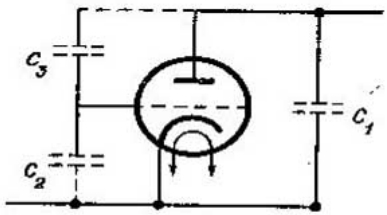


Fig. 9

38. Calcular la capacidad de un condensador que consta de 12 placas con un área de 3 cm² cada una. El dieléctrico del condensador es papel parafinado de 0,05 cm de espesor.

39. Un condensador con dieléctrico de papel tiene una capacidad de 500 pF. Determinar la capacidad de este condensador cuando el dieléctrico de papel se sustituye por mica.

40. Calcular el espesor de la mica ubicada entre las placas de un condensador con una capacidad de 500 pF que tiene dos placas con un área de 10 cm² cada una.

41. Determinar el área de la placa de un condensador con una capacidad de 400 pF, si la permitividad del dieléctrico es $\varepsilon=5,5$ y su espesor, 0,02 cm.

42. El circuito de un radiorreceptor necesita una capacidad de $C=600$ pF. El mecánico de radio dispone de condensadores de las capacidades siguientes: 200, 100, 500 y 300 pF. ¿Cuáles son los condensadores que se pueden elegir y cómo se deben conectar para obtener la capacidad requerida?

43. Calcular la capacidad total entre el ánodo y el cátodo de un tubo 6C4Б (6V5), si la capacidad entre sus electrodos se reparte tal como se muestra en la fig. 9. La capacidad $C_1=12$ pF; $C_2=6$ pF; $C_3=2$ pF.

44. La resistencia $r=2$ MΩ está conectada en serie con un condensador, cuya capacidad es $C=1000$ pF. Determinar la constante de tiempo del circuito.

45. La constante de tiempo de un circuito que lleva conectados en serie un condensador y una resistencia $r=0{,}5$ MΩ debe ser de 250 μ seg. Determinar la capacidad del condensador.

III. RESISTENCIA ELECTRICA Y CONDUCTIVIDAD

La resistencia eléctrica se mide en ohmios (ohm ó Ω), en kiloohmios (kohm o kΩ) y megohmios (Mohm o MΩ): 1 kΩ = 1000 Ω; 1 MΩ = = 1000 kΩ = 1 000 000 Ω.

La conductibilidad o conductividad se calcula según la fórmula

$$g = \frac{1}{r},$$

siendo g la conductividad, en S;
r la resistencia, en Ω.

La resistencia específica ρ es la magnitud inversa de la conductividad específica:

$$\rho = \frac{1}{\gamma}.$$

La resistencia de un conductor metálico se calcula según la fórmula

$$r = \rho \frac{l}{S} \quad \text{ó} \quad r = \frac{l}{\gamma S},$$

siendo r la resistencia, en Ω;

ρ la resistencia específica, $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$;

l la longitud del conductor, en m;

S el área de la sección transversal del conductor, en mm²;

γ la conductividad específica, $\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$.

La resistencia de una línea bifilar es igual a:

$$r = \rho \frac{2l}{S} \quad \text{ó} \quad r = \frac{2l}{\gamma S}.$$

La longitud del conductor o del cable arrollado en una bobina (fig. 10) se calcula en términos de la fórmula

$$l = \pi d_{\text{med}} n,$$

siendo d_{med} el diámetro medio de la bobina, en m;
n la cantidad de espiras.

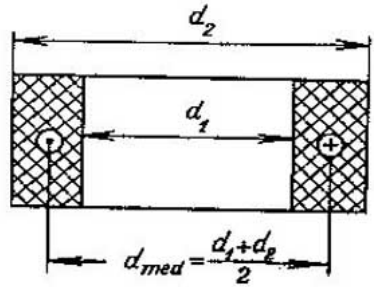


Fig. 10

La resistencia de los conductores depende de la temperatura. Cada material tiene su coeficiente de temperatura de la resistencia α (tabla 2).

Tabla 2

Resistencia específica, conductividad específica y coeficiente de temperatura de la resistencia de algunos materiales

Materiales	Resistencia específica ρ, $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$	Conductibilidad específica g, $\frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$	Coeficiente de temperatura de las resistencias α
Cobre	0,0175	57,2	0,004
Aluminio	0,028	35,7	0,004
Acero	0,135	7,4	0,005
Manganina	0,43	2,32	0,000006
Constantán	0,5	2	0,00004
Nicromio	1	1	0,00017
Niquelina	0,40	2,5	0,0003
Cinc	0,06	16,6	—
Plomo	0,21	4,8	—

La resistencia de un conductor a un cambio de temperatura de hasta 200° C se determina según la fórmula

$$r_2 = r_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)],$$

siendo r_1 la resistencia del conductor a una temperatura inicial, en Ω;
r_2 la resistencia del conductor a una temperatura final, en Ω;
α el coeficiente de temperatura de la resistencia del conductor;

t_1 la temperatura inicial del conductor, en ° C;
t_2 la temperatura final del conductor, en ° C.
De aquí la diferencia de temperaturas

$$\Delta t = \frac{r_2 - r_1}{r_1} \cdot \frac{1}{\alpha}.$$

Problemas

46. Determinar la resistencia específica de la niquelina, si su conductividad específica es de $2{,}5\ \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$.

47. La resistencia específica del acero es de $0{,}135\ \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$. Calcular su conductividad específica.

48. La longitud de un conductor de aluminio es de 2512 m, el área de su sección transversal es de 6,28 mm². Determinar la resistencia de este conductor.

49. Un cordón consta de 20 alambres de cobre que tienen un área de sección transversal $S=0{,}05$ mm² cada una. Determinar la resistencia de cinco metros de este conductor.

50. Para embobinar el electroimán de un timbre se utiliza alambre de cobre con una sección de 0,34 mm² y con una longitud de 150 m. ¿Cuál será la resistencia del devanado del timbre?

51. ¿Qué número de veces será mayor la resistencia de tres metros de alambre de aluminio que la resistencia de cinco metros de alambre de acero de igual sección?

52. La resistencia de un rollo de alambre de aluminio resultó igual a 8,8 Ω. Calcular la longitud del alambre, si su diámetro es de 3 mm.

53. La sección de un alambre de nicromio es igual a 1,5 mm². De este alambre se hicieron 10 espirales para un aparato de caldeo por resistencia. La resistencia de cada una de las espiras es igual a 150 Ω. Determinar la longitud del alambre que se utilizó en estas espirales.

54. Un alambre de niquelina tiene una resistencia de 200 Ω y su longitud es de 100 m. Calcular el área de la sección transversal del alambre.

55. Un cable tiene dos conductores de cobre. La longitud de cada uno es de 400 m y la resistencia del conductor es igual a 0,28 Ω. ¿Cuál es la sección del conductor utilizado en este cable?

56. El diámetro de un alambre de cobre es de 2 mm y su longitud es de 628 m. Determinar su sección y resistencia.

57. Un alambre de manganina posee una resistencia de 25 Ω. Su diámetro es de 0,5 mm. ¿Cuál será la longitud de este alambre?

58. La resistencia de un reóstato es de 160 Ω. Su devanado está hecho de niquelina de 0,25 mm² de sección. ¿Cuántos metros de alambre se utilizaron en el devanado?

59. Calcular la resistencia de un conductor telegráfico de acero, si su longitud es de 100 km y el diámetro de 4 mm.

60. Calcular el área de la sección transversal de un conductor de acero de 2,3 km de largo, si su resistencia es de 10 Ω.

61. Para determinar la longitud de un cable de teléfono arrollado en un tambor, los dos conductores de un extremo se han conectado entre sí y por el otro extremo se ha medido su resistencia que resultó igual a 23 Ω. ¿Cuál será la longitud de este cable, si el diámetro de sus conductores de cobre es de 1,2 mm?

62. ¿Cuántos metros de alambre se necesitan para fabricar una resistencia de 1500 Ω? El material del alambre es manganina, su diámetro es de 0,15 mm.

63. Una línea bifilar tiene una longitud de 500 m. La sección de sus alambres de aluminio es de 10 mm². Determinar la resistencia y la conductividad de esta línea.

64. La sección de un conductor de 300 m de longitud es de 6 mm² y la resistencia es de 3 Ω. ¿De qué material se ha fabricado este conductor?

65. Para fabricar una resistencia de 96 Ω se ha utilizado alambre de 120 m de longitud y 0,5 mm² de sección. ¿De qué material se ha hecho esta resistencia?

66. Determinar la resistencia específica de un conductor y el material del cual se ha hecho éste, si la longitud del conductor es de 69,79 m, la resistencia es de 6 Ω y el área de la sección transversal es de 5 mm².

67. Para fabricar una resistencia $r=45$ Ω se ha utilizado alambre de niquelina de 0,6 mm de diámetro. ¿Cuántos metros de alambre se necesitarán para 10 resistencias como ésta?

68. Las resistencias de un reóstato de manubrio son de alambre de constantán de 1,5 mm de diámetro. La resistencia de cada sección del reóstato se indica en la fig. 11. Determinar la longitud del alambre de cada sección del reóstato.

69. El diámetro exterior de una bobina es de 120 mm, su diámetro interior es de 80 mm. ¿Cuántos metros de alambre se han empleado para arrollar 200 espiras en la bobina?

Solución. $l=\pi \frac{d_1+d_2}{2} n=3{,}14 \frac{(80+120)}{2} 200=$

$=62\,800$ mm $=62{,}8$ m.

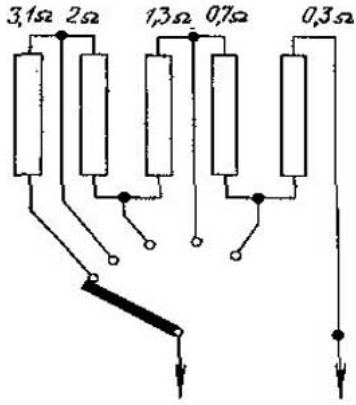


Fig. 11

70. El diámetro exterior de una bobina es de 240 mm, su diámetro interior es de 160 mm. En ésta se han arrollado 5000 espiras de alambre de cobre de 0,5 mm de diámetro. Determinar la resistencia del devanado de la bobina.

71. ¿Cuántas espiras tiene un devanado de alambre de cobre de 1,2 mm de diámetro, si el diámetro exterior de la bobina es de 14 cm, el interior de 10 cm y la resistencia es de 10,68 Ω?

72. Un devanado de alambre de cobre de 0,2 mm de diámetro tiene 3600 espiras. Determinar el diámetro medio de su bobina, si la resistencia del alambre es de 70 Ω.

73. El devanado de un relé tiene una resistencia de 600 Ω. El diámetro del alambre de cobre, arrollado en el núcleo, es igual a 0,15 mm. ¿Cuántos metros de alambre se necesitan para fabricar cinco relés como éste?

74. Determinar la longitud de un conductor de cobre arrollado en la bobina de un electroimán, si la resistencia eléctrica del conductor es de 300 Ω y el diámetro es de 0,1 mm.

75. Calcular la resistencia de un conductor de cobre a la temperatura $t_2=35°$ C, si la resistencia a una temperatura $t_1=5°$ C es igual a 72 Ω.

Solución. $r_2=r_1\,[1+\alpha\,(t_2-t_1)]=72\,[1+0{,}004\,(35-5)]=80{,}64$ Ω.

De este modo, la resistencia del conductor aumentó en $80{,}64-72=8{,}64$ Ω.

76. ¿En qué magnitud crece la resistencia de un alambre de nicromio de un reóstato, calentado por la corriente hasta la temperatura de 90° C, si a una temperatura de 15° C tiene la resistencia de 640 Ω?

77. La resistencia de un devanado de nicromio de un cautín eléctrico a unos 20° C es igual a 200 Ω. Calcular la resistencia del devanado a una temperatura de incandescencia igual a 165° C.

78. La resistencia del devanado de cobre del inducido de un generador de corriente continua a una temperatura de 15° C es igual a 0,04 Ω. Durante el trabajo del generador, el devanado se calienta y su resistencia aumenta hasta 0,044 Ω. Determinar en cuántos grados se eleva la temperatura del generador.

79. La resistencia de un calentador a 20° C es igual a 35 Ω. Determinar su resistencia a 620° C, si está hecho de material con un coeficiente de temperatura de la resistencia $\alpha=0{,}002$.

80. La resistencia del devanado de cobre de un electroimán a una temperatura de 15° C es igual a 3,5 Ω. Después de trabajar 30 minutos, la resistencia del devanado aumentó hasta 4,2 Ω. Determinar la temperatura del devanado.

81. La resistencia de un devanado de aluminio a la temperatura de 20° C es igual a 1250 Ω y a la temperatura t_2 es igual a 1700 Ω. Determinar la temperatura t_2.

82. ¿A qué temperatura un conductor de cobre tendrá una resistencia de 8 Ω, si a la temperatura de 20° C su resistencia es de 9 Ω.

83. ¿A qué temperatura la resistencia de 400 m de alambre de cobre con sección de 1 mm² será 8 Ω? La temperatura inicial es de 20° C.

84. Determinar la temperatura de un devanado de alambre de cobre, si al calentarlo a 5° C su resistencia aumenta desde 110 hasta 132 Ω.

85. La resistencia del devanado de cobre de un transformador a 20° C es igual a 16 Ω. Durante su trabajo la resistencia del devanado alcanzó 18 Ω. Determinar la temperatura de calentamiento del devanado.

86. El devanado de un motor de corriente continua a la temperatura de 4° C tenía una resistencia de 21 Ω. Después de trabajar muchas horas, la resistencia del devanado resultó ser igual a 28 Ω. Determinar la temperatura de calentamiento del devanado, si éste es de aluminio.

IV. CONEXION DE RESISTENCIAS

En caso que las resistencias se conecten en serie, tendremos

$$r_{tot} = r_1 + r_2 + \cdots + r_n.$$

Si se han conectado en serie n conductores de resistencias iguales, su resistencia total será

$$r_{tot} = rn.$$

La conductividad total de las resistencias conectadas en paralelo es igual a

$$g_{tot} = g_1 + g_2 + \cdots + g_n,$$

siendo $g_1, g_2, \cdots g_n$ la conductividad de cada resistencia, en S.

Puesto que la conductividad es una magnitud inversa a la resistencia, entonces

$$g_{tot} = \frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \cdots + \frac{1}{r_n}.$$

Si dos resistencias se conectan en paralelo, la resistencia total de éstas será

$$r_{tot} = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}.$$

Si se conectan en paralelo n conductores de resistencias iguales, la resistencia total será

$$r_{tot} = \frac{r}{n}.$$

87. Los devanados de tres relés telefónicos están conectados en serie, la resistencia de uno es igual a 600 Ω, la del otro es de 800 Ω. Determinar la resistencia del devanado del tercer relé, si la resistencia total de los devanados es de 2100 Ω.

88. Unos cuantos resistores de 200 Ω cada uno están conectados en serie. La resistencia total de estos resistores es de 800 Ω. ¿Cuántos resistores se conectaron?

89. Un circuito telegráfico consta de dos electroimanes conectados en serie, un conductor de línea, dos miliamperímetros, dos pilas y de dos puestas a tierra. La resistencia de cada electroimán es de 300 Ω, la del con-

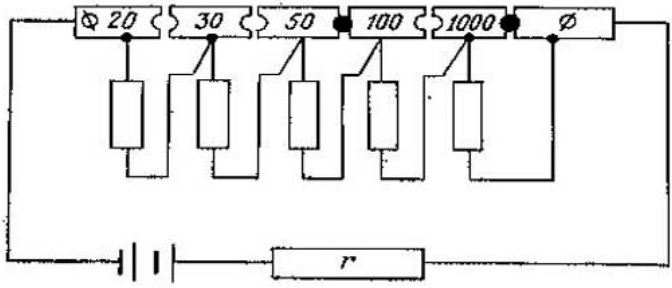


Fig. 12

ductor de línea, de 500 Ω, la del miliamperímetro, 10 Ω y la de la puesta a tierra, 1,5 Ω. La resistencia interior de cada pila es de 3,5 Ω. Calcular la resistencia total del circuito.

90. Un reóstato de clavijas está conectado en un circuito tal como se muestra en la fig. 12. Determinar la resistencia del reóstato.

91. Un electroimán consta de dos bobinas con devanados de alambre de cobre (con aislamiento de barniz) de 0,12 mm de diámetro. Calcular la longitud del alambre indispensable para arrollar estas bobinas, si están conectadas en serie y su resistencia total es de 500 Ω.

92. Para fabricar dos resistores de alambre de constantán de 0,1 mm de diámetro se han empleado 100 m de alambre en cada uno. Determinar su resistencia total cuando están conectados en serie.

93. ¿Cuál será el área de la sección transversal de un alambre de niquelina del que se han hecho tres resistencias iguales conectadas en serie? Cada resistencia requiere 20 m de alambre. La resistencia total es de 600 Ω.

94. Tres resistores están conectados en paralelo. El primero tiene una resistencia de 20 Ω, el segundo de 30 Ω y el tercero de 60 Ω. Determinar su conductividad total.

95. La conductividad total de dos resistores conectados en paralelo es de $\frac{3}{27}$ S. Calcular la resistencia total de estos resistores.

96. Los resistores $r_1=10\ \Omega$, $r_2=40\ \Omega$ y $r_3=80\ \Omega$ están conectados en paralelo. Calcular su resistencia total.

97. Tres resistores están acoplados en paralelo. Su resistencia total es de 6 Ω, $r_1=24\ \Omega$, $r_2=40\ \Omega$. Determinar la magnitud de la resistencia del tercer resistor.

98. Por cada kilómetro de conductor en postes se necesitan 20 aisladores. La resistencia de cada uno con relación a tierra es de 1000 MΩ. Determinar la resistencia del aislamiento de la línea con respecto a tierra, si la longitud de la línea es de 5 km.

99. Calcular la resistencia de un circuito que consta de tres resistores: $r_1=540\ \Omega$, $r_2=270\ \Omega$ y $r_3=135\ \Omega$, cuando se hallan conectados en serie y en paralelo.

100. Seis lámparas iguales están conectadas en paralelo. La resistencia de cada una es de 30 Ω. Calcular su resistencia total.

101. Tres resistores hechos de alambre de manganina tienen 0,2 mm de diámetro. La fabricación de una de las resistencias ha consumido 20 m de alambre, la segunda, 30 m y la tercera, 45 m. Determinar la resistencia total de estos resistores cuando se hallan conectados en paralelo.

102. Cinco espirales calefactoras de nicromio de 0,4 mm^2 de sección están conectadas en paralelo. Las resistencias de las espirales son de 15, 20, 30, 60 y 120 Ω, correspondientemente. ¿Cuántos metros de alambre se consumieron en la fabricación de cada espiral y cuál es la resistencia total de éstas?

103. Siete resistores están conectados tal como se muestra en la fig. 13. Calcular su resistencia total, si

$r_1=8\ \Omega$, $r_2=4\ \Omega$, $r_3=10\ \Omega$, $r_4=30\ \Omega$, $r_5=15\ \Omega$, $r_6=75\ \Omega$ y $r_7=25\ \Omega$.

Solución. Las resistencias están conectadas en tres grupos. La resistencia total del primer grupo viene dada por

$$r_{1,2}=\frac{r_1 r_2}{r_1+r_2}=\frac{8\cdot 4}{8+4}=\frac{32}{12}=2{,}66\Omega.$$

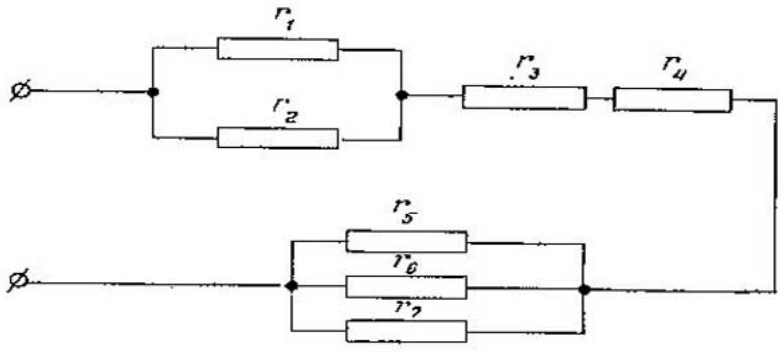


Fig. 13

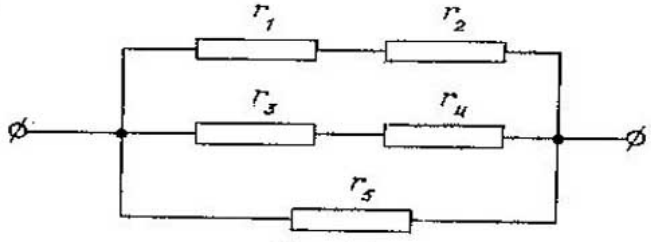


Fig. 14

La resistencia total del segundo grupo $r_{3,4}=r_3+r_4=10+30=40\Omega$.

La resistencia total del tercer grupo se calcula por la fórmula

$$\frac{1}{r_{5,6,7}}=\frac{1}{r_5}+\frac{1}{r_6}+\frac{1}{r_7}=\frac{1}{15}+\frac{1}{75}+\frac{1}{25}=\frac{9}{75}\text{S},$$

de aquí $r_{5,6,7}=\frac{75}{9}=8{,}33\Omega$.

Los grupos 1, 2 y 3 están acoplados en serie, por eso

$$r_{tot}=r_{1,2}+r_{3,4}+r_{5,6,7}=2{,}66+40+8{,}33=50{,}99\Omega.$$

104. Calcular la resistencia total de unos receptores de energía eléctrica conectados como se muestra en la fig. 14, si $r_1=10\ \Omega$, $r_2=40\ \Omega$, $r_3=50\ \Omega$, $r_4=25\ \Omega$ y $r_5=150\ \Omega$.

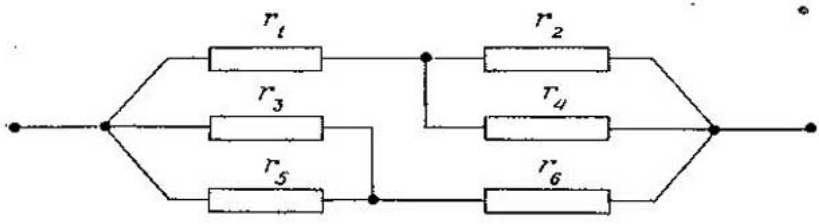


Fig. 15

105. Seis resistores están conectados como se muetra en la fig. 15. Determinar su resistencia total, si $r_1=24\ \Omega$, $r_2=36\ \Omega$, $r_3=12\ \Omega$, $r_4=4\ \Omega$, $r_5=60\ \Omega$, $r_6=4\ \Omega$.

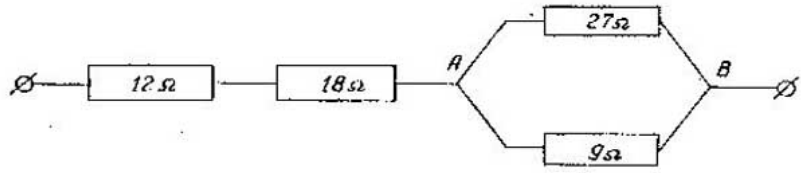


Fig. 16

106. Determinar la resistencia total del circuito representado en la fig. 16.

107. Calcular la resistencia total del circuito representado en la fig. 17.

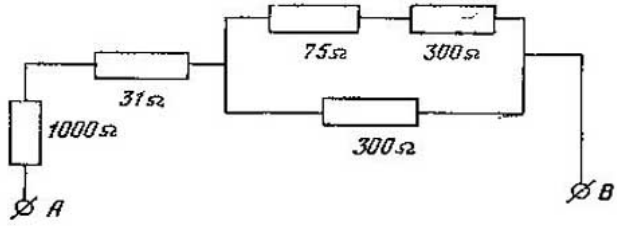


Fig. 17

108. El hilo *A* de un circuito telefónico se rompió, su extremo cayó sobre el hilo *B* e hizo contacto con éste (fig. 18). Calcular la resistencia total del circuito así

establecido entre las estaciones № 1 y 2, si la resistencia del hilo A, desde la estación № 1 hasta el punto a, es igual a 260 Ω; la resistencia del hilo B, desde esta misma estación hasta el punto a compone 258 Ω; la resistencia del hilo B desde el punto a hasta la estación № 2 compone

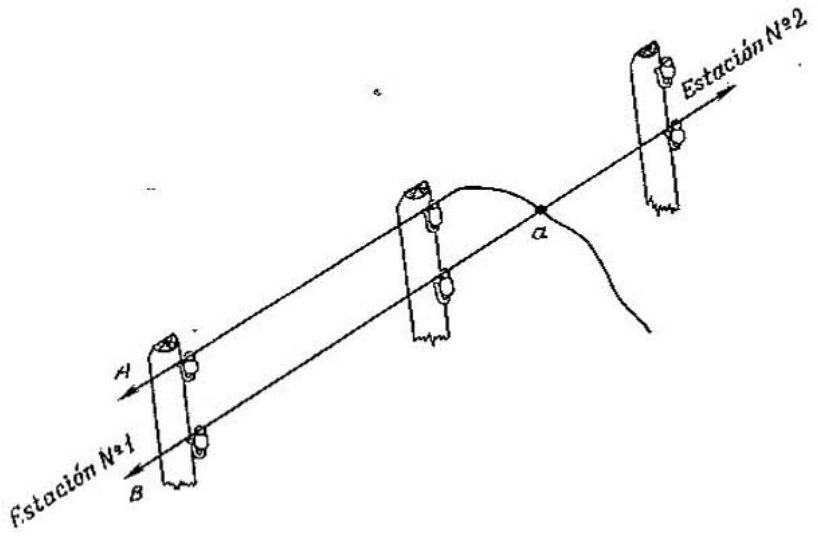


Fig. 18

80 Ω; los hilos A y B están conectados entre sí en la estación № 1. La resistencia de contacto en el punto a se menosprecia.

V. LEY DE OHM

La ley de Ohm dice que la intensidad de corriente en un circuito cerrado es directamente proporcional a la f.e.m. de la fuente de energía eléctrica conectada al circuito e inversamente proporcional a la impedancia del circuito:

$$I = \frac{E}{r + r_0},$$

siendo I la intensidad de corriente, en A *;
E la f.e.m. de la fuente de energía eléctrica, en V **;

* 1 A = 1000 mA = 1 000 000 μA.
** 1 V = 1000 mV = 1 000 000 μV; 1 kV = 1000 V.

r la resistencia del sector exterior del circuito, en Ω;
r_0 la resistencia interna de la fuente de energía eléctrica, en Ω.

De la fórmula anterior se deduce que la f.e.m. de la fuente de energía eléctrica conectada al circuito es

$$E = I(r + r_0), \text{ ó } E = Ir + Ir_0$$

y la impedancia del circuito eléctrico es

$$r_{cir} = (r + r_0) = \frac{E}{I}.$$

En el caso de un trozo o segmento de circuito eléctrico, la intensidad de corriente es directamente proporcional a la tensión en sus bornas e inversamente proporcional a la resistencia del segmento de circuito:

$$I = \frac{U}{r},$$

siendo I la intensidad de corriente que fluye por el segmento de circuito, en A;
U la tensión en las bornas, en V;
r la resistencia del segmento de circuito, en Ω.

La tensión en el segmento de circuito es $U = I \cdot r$.

La resistencia del segmento de circuito es $r = \frac{U}{I}$.

Problemas

109. La resistencia del segmento exterior de circuito compone 27 Ω, la resistencia (interna) de la fuente de energía eléctrica es igual a 3 Ω. Determinar la resistencia de todo el circuito.

110. La resistencia interna de una fuente de energía eléctrica es igual a 6,5 Ω. La resistencia total del circuito es de 700 Ω. Calcular la resistencia del segmento exterior de circuito.

111. A un circuito eléctrico se conecta una fuente de energía eléctrica, cuya f.e.m. $E = 60$ V. La resistencia del segmento exterior de circuito $r = 26$ Ω y la del segmento interior $r_0 = 4$ Ω. Determinar le corriente que fluye por el circuito.

112. Un micrófono de 50 Ω de resistencia se alimenta con una pila (batería), cuya f.e.m. es de 3 V y su resistencia interna, de 6 Ω. El micrófono va conectado en serie a una resistencia de 4 Ω. Calcular la magnitud de la corriente en el circuito del micrófono.

113. En un circuito eléctrico está conectado un resistor de $r = 980$ Ω, por el que fluye una corriente de

0,05 A de intensidad. Calcular la f.e.m. de la fuente de corriente, si su resistencia interna es de 10 Ω.

114. Una pila, cuya f.e.m. es de 48 V y su resistencia interna, es de 3 Ω, crea en el circuito una corriente de 25 mA. Determinar la resistencia del segmento exterior de este circuito.

115. En un circuito con una tensión de 40 V está conectado un reóstato que consta de ocho secciones conectadas en serie. La resistencia de cada sección del alambre del reóstato es de 5 Ω. ¿Cuántas secciones se deben conectar en el circuito para que en el circuito del reóstato haya una intensidad de corriente igual a 2 A?

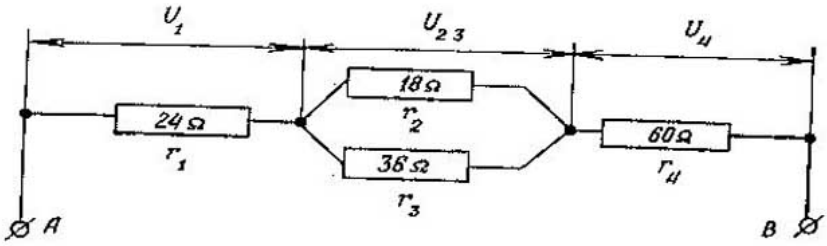


Fig. 19

116. Una fuente de energía eléctrica que posee una f.e.m. $E=50$ V y una resistencia interna $r_0=0{,}6$ Ω está conectada a un resistor de $r=19{,}4$ Ω. Determinar la tensión de la fuente de energía eléctrica y la intensidad de corriente en el circuito.

117. Dos resistores de $r_1=90$ Ω y $r_2=45$ Ω están conectados en paralelo. Tienen conectada una fuente de energía eléctrica, cuya f.e.m. es de 12 V y la resistencia interna es igual a cero. Componer el esquema del circuito y determinar la intensidad de corriente que fluye por los resistores r_1 y r_2.

118. Dos resistores de $r_1=2500$ Ω y $r_2=7500$ Ω están conectados en serie. A ellos se suministra una tensión de 100 V. ¿Cómo se distribuye esta tensión entre ellos?

119. La tensión suministrada al circuito [fig. 19] es igual a 60 V. ¿Cuál será la caída de la tensión en cada resistor?

120. Por dos conductores de cobre fluye corriente desde una pila, cuya f.e.m. es de 49,2 V y la resistencia interna $r_0 = 15\ \Omega$. La longitud total de estos conductores es de 12 000 m y su diámetro, de 3 mm. A estos conductores está conectado un aparato, cuya resistencia es de 300 Ω. Componer el esquema y determinar la resistencia del circuito y la intensidad de corriente en el circuito.

121. Construir la gráfica de cambio de la corriente en un segmento de circuito, si la tensión en sus bornas es de 120 V y la resistencia en el segmento de circuito varía entre 10, 20, 40, 60, 80 y 100 Ω.

122. Construir la gráfica de cambio de la corriente en el segmento de circuito, si su resistencia es de 200 Ω y la tensión varía entre 20, 40, 60, 80, 100 y 120 V.

123. La resistencia del segmento exterior de circuito es de 500 Ω. Determinar la resistencia interna de una pila, cuya f.e.m. es de 80 V, si la intensidad de corriente en el circuito es de 125 mA.

124. Calcular la tensión de una pila, si la resistencia del circuito, al que va conectada la pila es de 3000 Ω y la corriente es de 0,02 A.

125. Una fuente de energía eléctrica con tensión de 60 V y con resistencia interna de 10 Ω, está conectada en serie con tres resistores de alambre $r_1 = 150\ \Omega$, $r_2 = 100\ \Omega$, $r_3 = 40\ \Omega$. Determinar la intensidad de corriente en el circuito y la caída de la tensión en cada resistor.

126. En el circuito de una fuente de energía eléctrica está conectado un aparato que tiene una resistencia de 3,5 Ω y consume corriente con intensidad de 30 A. Determinar la resistencia de los conductores de conexión y el voltaje que consumen cuando la tensión en las bornas de la fuente de energía eléctrica es igual a 110 V.

127. La intensidad de corriente en los filamentos de un tubo es de 2 A y la tensión suministrada a sus extremos es igual a 5 V. ¿Qué resistencia eléctrica posee el filamento?

128. El filamento de un tubo electrónico tiene una resistencia de 21 Ω. ¿Qué tensión se debe suministrar al filamento para que la intensidad de corriente de caldeo en el tubo sea de 0,3 A?

129. A través del filamento de la bombilla de una linterna de bolsillo pasa corriente con una intensidad

de 0,28 A, siendo la tensión de 4,5 V. Calcular la resistencia del filamento de la bombilla.

130. Tres resistores $r_1=25\ \Omega$, $r_2=15\ \Omega$, $r_3=30\ \Omega$ están conectados como se muestra en la fig. 20. La tensión en la segunda resistencia es de 30 V. Calcular la tensión en los extremos de los demás resistores y la f.e.m. del generador, si su resistencia interna $r_0=2\ \Omega$. Determinar la lectura del voltímetro que está conectado al generador. La corriente del voltímetro se desprecia.

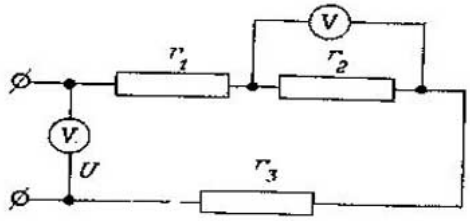


Fig. 20

S o l u c i ó n. Conforme a la condición del problema, la tensión en los extremos del segundo resistor es de 30 V. Por consiguiente, la intensidad de corriente que fluye por este resistor es $I=\frac{U_2}{r_2}=\frac{30}{15}=2$ A.

Puesto que los resistores están conectados en serie, por ellos pasa corriente de igual intensidad, es decir, $I=2$ A. La tensión en el primer resistor $U_1=Ir_1=2\cdot 25=50$ V; la tensión en el tercer resistor $U_3=Ir_3=2\cdot 30=60$ V; la caída de la tensión en el interior de la fuente de energía eléctrica $U_0=Ir_0=2\cdot 2=4$ V.

La f.e.m. $E=U_1+U_2+U_3+U_0=50+30+60+4=144$ V.

La lectura del voltímetro conectado al generador $U=E-U_0=144-4=140$ V.

131. Los filamentos de los tres tubos electrónicos de un radiorreceptor alimentado con pilas están conectados en serie con un resistor limitador y con una batería de 110 V (fig. 21). La intensidad de corriente en el circuito es igual a 0,3 A. El caldeo de los filamentos del primero y segundo tubos necesita una tensión de 6,3 V y el del filamento del tercer tubo, 30 V. Determinar la

resistencia del resistor y la tensión en sus bornas. La corriente del voltímetro se desprecia.

132. La tensión en los extremos de un circuito consistente en cuatro relés conectados en serie, las resistencias de cuyas bobinas son $r_1=100\ \Omega$, $r_2=60\ \Omega$, $r_3=120\ \Omega$, $r_4=240\ \Omega$, respectivamente, es igual a 60 V. Calcular la intensidad de corriente que fluye por estos relés y la tensión en las bornas de cada uno.

133. ¿Qué tensión habrá en las bornas de un receptor de energía eléctrica, si a una intensidad de corriente de 2,4 A, la f.e.m. que alimenta su generador es de 24 V (la resistencia interna de este generador es de 0,5 Ω)?

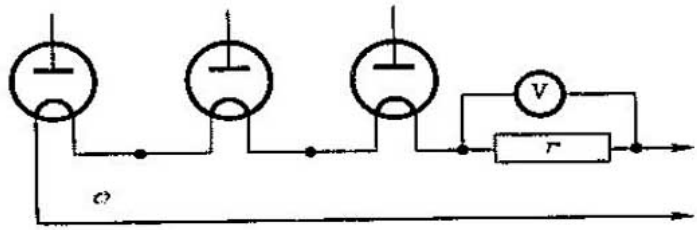


Fig. 21

134. Un aparato con una resistencia de 800 Ω y un reóstato están acoplados en serie. Se les conectó un generador de f.e.m. de 40 V y de una resistencia interna $r_0=0,8\ \Omega$. Calcular la resistencia de la parte conectada del reóstato y la tensión en sus bornas, si la intensidad de corriente en el circuito es de 25 mA.

135. Una bombilla eléctrica está conectada a una línea de 127 V. Calcular la caída de tensión en la bombilla y en los conductores, si la resistencia de los conductores es de 4 Ω y la de la bombilla, de 250 Ω.

136. Un electroimán está conectado en serie con un resistor de 300 Ω. ¿Qué tensión hay que conectar en el circuito para que la intensidad de corriente en el electroimán sea de 45 mA?

137. La resistencia de un relé es de 1250 Ω. ¿Cuál será la intensidad de corriente que pasa por el devanado de este relé, si la tensión de la batería es de 48 V?

138. En un circuito están conectados en serie dos resistores constantes $r_1=120\ \Omega$, $r_2=60\ \Omega$ y un reóstato

de $r_3=300\ \Omega$. Se les conectó una fuente de corriente continua de $U=60$ V. Calcular la caída de voltaje en cada uno de los tres resistores conectados al circuito.

139. El cursor de un reóstato se desplazó, quedando la resistencia de su parte conectada en 100 Ω. Sin variar las condiciones del problema 138, calcular de nuevo las tensiones en cada resistor y explicar la razón de que hayan cambiado en comparación con las existentes, cuando la resistencia del reóstato era de 300 Ω.

140. Tres resistencias térmicas de 60 Ω cada una, hechas de alambre de nicromio de 0,8 mm de diámetro, están conectadas en paralelo a una red de 120 V. Calcular la corriente que fluye por cada resistencia y los metros de alambre que requirió su fabricación.

141. Un miliamperímetro está conectado en serie a una fuente de energía eléctrica y a dos resistores de $r_1=1200\ \Omega$ y $r_2=400\ \Omega$. Un voltímetro conectado al primer resistor indica una tensión igual a 12 V.

Determinar la lectura del voltímetro conectado al segundo y la tensión de la fuente de energía eléctrica. La resistencia del milivoltímetro, la de la fuente de energía eléctrica y la corriente de los voltímetros se pueden despreciar.

142. La intensidad de corriente en la espiral de un calentador es de 4 A. La tensión en la red es de 120 V. Determinar la resistencia del alambre del calentador y la resistencia específica del material con el que se fabricó la espiral, si la longitud del alambre es de 16 m y su sección, de 0,24 mm^2.

143. La fabricación de tres resistores de manganina se ha llevado 80 m de alambre de 0,3 mm de diámetro: 10 m para el primer resistor, 25 m para el segundo y 45 m para el tercero. Los resistores están conectados entre sí en paralelo. Construir el diagrama del circuito y calcular la intensidad de corriente en cada resistor y en la fuente de energía eléctrica conectada a éstos, si su f.e.m. es de 30 V y la resistencia interna $r_0=2\ \Omega$.

144. Un milivoltímetro conectado al trozo exterior de un circuito indica un voltaje de 7 mV. Determinar la resistencia del trozo de circuito cuando el microamperímetro conectado indique 35 μA.

145. Construir el diagrama de circuito y calcular la intensidad de corriente en el mismo cuando en este cir-

cuito se encuentran acoplados en serie: dos devanados de relé con resistencia de 300 Ω cada uno; un resistor con resistencia de 50 Ω; un micrófono con resistencia de 200 Ω; una batería de 24 V. La resistencia interna de la batería se puede despreciar. Determinar la tensión en las bornas del micrófono.

146. El devanado de un electroimán es de alambre de cobre de 0,05 mm² de sección. Cuando la intensidad de corriente es de 15 mA, la tensión en sus extremos es de 6 V. ¿Cuántos metros de alambre necesita el devanado de este electroimán?

147. Dos devanados de relé con resistencia total de 850 Ω están acoplados en serie con un resistor y por ellos fluye una corriente de 50 mA. Calcular la tensión de la fuente de energía eléctrica cuando la resistencia del resistor es de 300 Ω.

148. Un miliamperímetro conectado a la red eléctrica indica 60 mA y un voltímetro, 30 V. ¿Cuál será la resistencia del circuito del que forman parte los aparatos?

149. Un generador con resistencia interna de 0,25 Ω crea una f.e.m. de 115 V. Determinar la tensión en las bornas del generador, sabiendo que la resistencia del voltímetro es de 4000 Ω y que la resistencia del receptor de energía eléctrica es de 10 Ω.

150. Una fuente de corriente de 100 V está acoplada en serie con un resistor $r=100$ Ω y con un reóstato de 250 Ω de resistencia. Determinar la intensidad de corriente en el circuito y la caída de tensión en el reóstato.

151. Un amperímetro conectado a un circuito indica 0,5 A. ¿Cuál será la magnitud de la caída de tensión en el aparato, si su resistencia es de 0,02 Ω.

152. Un divisor de tensión consta de cuatro resistores acoplados en serie: $r_1=15$ Ω, $r_2=21$ Ω, $r_3=9$ Ω, $r_4=35$ Ω. ¿Cuál será la caída de tensión en cada resistor del divisor, si se suministra a sus bornas una tensión de 120 V?

153. Determinar la intensidad de corriente que fluye por un resistor $r=50$ kΩ, si el voltímetro que lleva acoplado indica 100 V. La corriente del voltímetro se puede despreciar.

154. Determinar la intensidad de corriente en el devanado de un voltímetro que indica 96 V de tensión, si la resistencia del devanado es de 12 000 Ω.

155. Al ánodo de un tubo (fig. 22) se debe suministrar una tensión de 240 V proveniente de una batería de 320 V. ¿Cuál será la resistencia que se debe acoplar en serie al ánodo, si la intensidad de corriente de placa es de 10 mA?

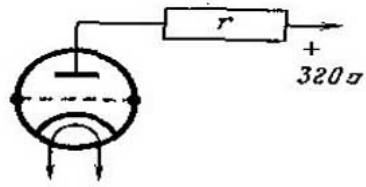


Fig. 22

156. Una lámpara de señalización se alimenta de una fuente de energía eléctrica de 24 V. ¿Cuál será la resistencia del filamento de esta lámpara, si la intesidad de corriente en el filamento es de 75 mA?

VI. LEYES DE KIRCHHOFF

Conforme a la primera ley de Kirchhoff, la suma de las corrientes que afluyen hacia un nodo es igual a la suma de corrientes que salen del mismo (fig. 23)

$$I = I_1 + I_2 + I_3.$$

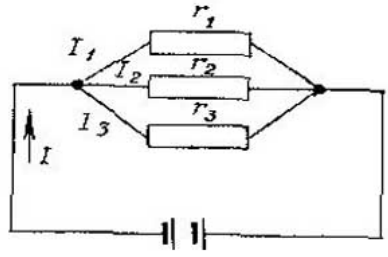


Fig. 23

La tensión en los extremos de las resistencias acopladas en paralelo es igual

$$U_1 = U_2 = U_3.$$

Las corrientes en receptores de energía eléctrica acoplados en paralelo se distribuyen en forma directamente proporcional a sus

conductividades:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{g_1}{g_2}.$$

Conforme a la s e g u n d a ley de Kirchhoff, en todo circuito eléctrico cerrado la suma algebraica de todas las f.e.m. es igual a la suma algebraica de las caídas de tensión en las resistencias de este circuito.

Al escribir la ecuación en términos de la segunda ley de Kirchhoff conviene elegir una dirección en la que recorre el bucle (sea en sentido de las agujas del reloj o en sentido contrario a éstas). Las f.e.m. y las corrientes que coinciden con la dirección del recorrido se consideran positivas, en tanto que las que tienen dirección contraria se consideran negativas.

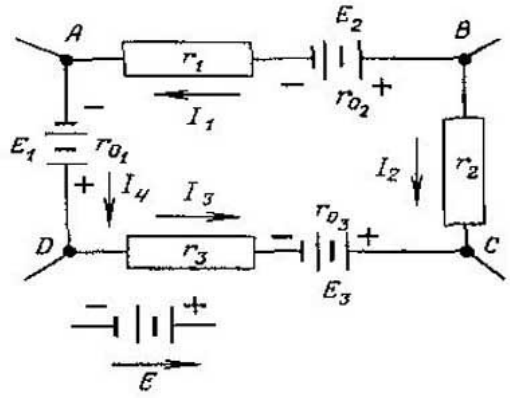


Fig. 24

Si en el caso del bucle *ABCD* (fig. 24) elegimos la dirección del recorrido en sentido de las agujas del reloj, la segunda ley de Kirchhoff se podrá escribir del siguiente modo:

$$E_2 - E_1 - E_3 = Ir_1 + Ir_2 + Ir_3 + I(r_{0_1} + r_{0_2} + r_{0_3}),$$

siendo E_1, E_2, E_3 la magnitud de las f.e.m. de las fuentes de corriente;

r_1, r_2, r_3 las resistencias exteriores del circuito;

r_{01}, r_{02}, r_{03} la resistencia interna de las fuentes de corriente.

Problemas

157. Cuatro resistores $r_1 = 20\ \Omega$, $r_2 = 60\ \Omega$, $r_3 = 30\ \Omega$ y $r_4 = 48\ \Omega$ están acoplados en paralelo. Luego se les conecta una fuente de energía eléctrica de $U = 12$ V. Calcular la intensidad de corriente en cada rama y la intensidad de corriente total.

158. La intensidad total de corriente de dos resistores $r_1=16\ \Omega$ y $r_2=64\ \Omega$ acoplados en paralelo es de 430 mA. Determinar la tensión en los extremos de estos resistores y la intensidad de corriente en cada uno de ellos.

159. Una corriente con intensidad de 0,12 A se divide entre tres resistores: $r_1=24\ \Omega$, $r_2=48\ \Omega$ y $r_3=96\ \Omega$. Determinar la intensidad de corriente en cada resistor.

160. Tres resistores $r_1=200\ \Omega$, $r_2=50\ \Omega$ y $r_3=20\ \Omega$ están acoplados en paralelo. Calcular la conductividad total del circuito, su resistencia total, la tensión en las bornas y la intensidad de corriente en cada uno de estos resistores, si la intensidad total de corriente es igual a 0,5 A.

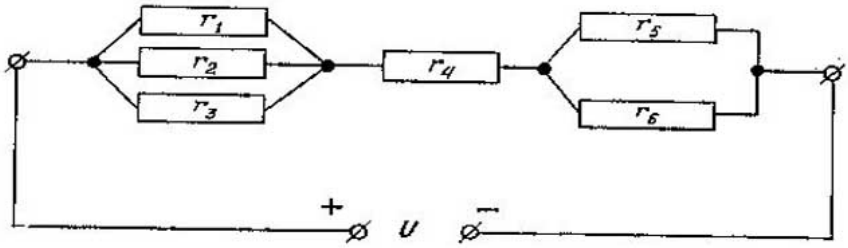


Fig. 25

Solución. La conductividad total $g_{tot}=\frac{1}{r_{tot}}=$
$=\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}=\frac{1}{200}+\frac{1}{50}+\frac{1}{20}=0{,}075$ S.

La resistencia $r_{tot}=\frac{1}{g_{tot}}=\frac{1}{0{,}075}=13{,}3\ \Omega$.

La tensión en las bornas de los resistores acoplados en paralelo es $U=Ir_{tot}=0{,}5\cdot 13{,}3=6{,}65$ V.

Conforme a la ley de Ohm la corriente $I=\frac{U}{r}$. Por eso, la intensidad de corriente en el primer resistor $I_1=\frac{6{,}65}{200}=$
$=0{,}033$ A; $I_2=\frac{6{,}65}{50}=0{,}133$ A; $I_3=\frac{6{,}65}{20}=0{,}332$ A.

161. Los resistores $r_1=16\ \Omega$, $r_2=24\ \Omega$, $r_3=48\ \Omega$, $r_4=56\ \Omega$, $r_5=14\ \Omega$, $r_6=10\ \Omega$ están acoplados tal como

se muestra en la fig. 25. Determinar la intensidad de corriente total en el circuito y la tensión en los extremos de cada trozo de circuito, si la f.e.m. de la fuente de energía eléctrica es de 60 V.

162. Un circuito consta de cuatro ramas. Véase la fig. 26. La intensidad de corrientes es igual a $I_1=16$ mA, $I_2=3$ mA, $I_3=12$ mA y $I_4=25$ mA, correspondientemente. Determinar la suma algebraica de las intensidades de corrientes en este circuito y la resistencia de cada sección, si $U_b=24$ V.

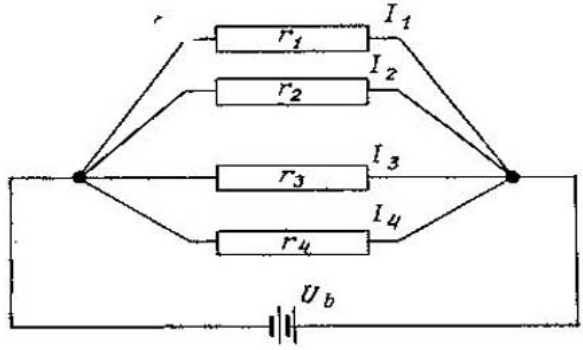


Fig. 26

163. Determinar la intensidad de corriente en un receptor con resistencia de $r_1=30\ \Omega$, si esta resistencia está acoplada en paralelo con el resistor $r_2=90\ \Omega$, en el que fluye corriente con intensidad de 0,09 A.

Solución. En los resistores acoplados en paralelo tenemos que $\frac{I_1}{I_2}=\frac{r_2}{r_1}$. De aquí que $I_1=\frac{I_2 r_2}{r_1}=\frac{0{,}09\cdot 90}{30}=$ $=0{,}27$ A.

164. En un circuito están acoplados en paralelo tres resistores. La intensidad de corriente que fluye al punto nodal es de 960 mA. Construir el diagrama del circuito y determinar la intensidad de corriente en el segundo resistor, si la intensidad de corriente en el primero es igual a 250 mA y en el tercero, a 556 mA.

165. Una batería de elementos de 3,75 V está conectada a cuatro lámparas de señalización acopladas en paralelo. La resistencia de las lámparas L_1 y L_2 es de 2 Ω

cada una y la de las lámparas L_3 y L_4 es de 1,5 Ω cada una. Determinar la intensidad de corriente en cada una de las lámparas y la intensidad de corriente total en el circuito. La resistencia interna de la batería se puede menospreciar.

166. Un circuito eléctrico con resistencia de 60 Ω se alimenta de una fuente de corriente de 24 V. ¿Qué clase de resistencia se debe conectar en el circuito y de qué modo, para que la resistencia total sea de 20 Ω? Determinar la intensidad de corriente en el circuito antes y después de conectar la resistencia.

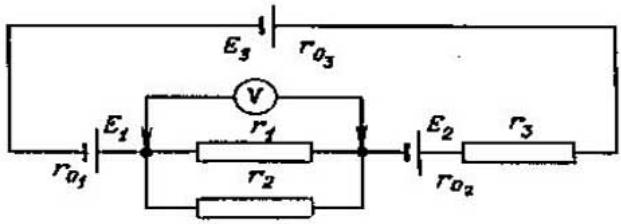


Fig. 27

167. En un circuito están acopladas en paralelo seis lámparas de incandescencia. La resistencia de cada lámpara es de 60 Ω. Determinar la tensión en la red, si cada lámpara absorbe una corriente de 2 A. Calcular la intensidad de la corriente total en el circuito, cuando a estas seis lámparas se les acopla en paralelo otras nueve lámparas semejantes.

168. Calcular la magnitud de la resistencia r_1, acoplada en paralelo con una resistencia r_2=25 Ω, en la que la intensidad de corriente I_2 es igual a 60 mA cuando la intensidad total de corriente es de 185 mA.

169. Tres baterías están conectadas en un circuito, tal como se muestra en la fig. 27. Sus f.e.m. son E_1=6 V, E_2=9 V, E_3=7 V y las resistencias internas son r_{01}=4 Ω, r_{02}=5 Ω y r_{03}=6 Ω. Al circuito van conectados los resistores r_1=70 Ω, r_2=30 Ω, r_3=250 Ω. Calcular la intensidad y la dirección de la corriente en el circuito, así como la tensión en los extremos de los resistores r_1 y r_2.

Solución. Aceptamos por dirección positiva de las f.e.m. la dirección E_1 y E_2.

Conforme a la segunda ley de Kirchhoff

$$E_1 + E_2 - E_3 = Ir_{0_1} + Ir_{0_2} + Ir_{0_3} + Ir_3 + I\left(\frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}\right) =$$

$$= 6 + 9 - 7 = I \cdot 4 + I \cdot 5 + I \cdot 6 + I \cdot 250 + I\left(\frac{30 \cdot 70}{30 + 70}\right).$$

De este modo, $8 = 286\ I$.

De aquí la intensidad de corriente en el circuito será $I = \frac{8}{286} = 0{,}028$ A y la dirección de la corriente coincidirá con la de la f.e.m. de las baterías E_1 y E_2.

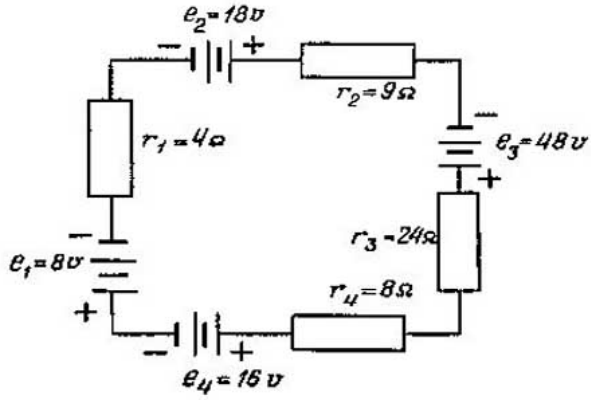


Fig. 28

La tensión en los extremos de los resistores r_1 y r_2 es la misma. Conforme a la ley de Ohm, $U_{1,2} = I\left(\frac{r_1 \times r_2}{r_1 + r_2}\right) =$

$= 0{,}028\ \left(\frac{30 \times 70}{30 + 70}\right) = 0{,}588$ V.

170. Dos resistores están acoplados en paralelo. La conductividad del primero $g_1 = \frac{1}{1\,000\,000}$ S y la del segundo, $g_2 = \frac{1}{5\,000\,000}$ S. La intensidad de corriente en el segundo resistor es de 0,005 A. Calcular la intensidad de corriente en el primer resistor.

171. La conductividad de uno de los dos resistores acoplados en paralelo es $\frac{1}{10\,000\,000}$ S. Su intensidad de corriente es de 5 μA. ¿Cuál será la conductividad del otro, en el que la intensidad de corriente es igual a 25 μA? Determinar también la magnitud de cada uno de los resistores.

172. Calcular la suma algebraica de las f.e.m. de unas pilas conectadas en circuito (fig. 28) y la tensión en cada uno de los resistores.

173. Un alumno ha conectado en un circuito con una resistencia de 30 Ω dos elementos galvánicos (fig. 29). La f.e.m. de los elementos $E_1=1{,}5$ V, $E_2=1{,}2$ V. En este caso, el alumno supuso que la corriente en el circuito (medida con un amperímetro) tendría una intensidad de 0,09 A. ¿Corresponderá la magnitud de la intensidad de corriente a la indicada cuando los elementos se encuentren conectados en tal forma?

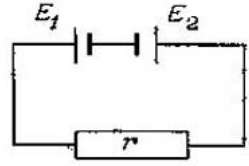


Fig. 29

174. Cuatro receptores de energía eléctrica con resistencias $r_1=16$ Ω, $r_2=12$ Ω, $r_3=4$ Ω y $r_4=8$ Ω acoplados en serie están conectados a las bornas de un generador de f.e.m. $E=48$ V y resistencia interna $r_0=0{,}5$ Ω. Determinar la intensidad de corriente en el circuito, la caída de tensión en cada trozo de circuito y convencerse que la f.e.m. en las bornas del generador es igual a la suma de las caídas de tensiones en los trozos del circuito.

175. Una línea bifilar en la que la intensidad de corriente es igual a 310 A tiene dos ramificaciones. En una de ellas se encuentran conectadas en paralelo 12 resistencias de 600 Ω cada una y en la otra, 3 resistencias: $r_1=20$ Ω, $r_2=50$ Ω y $r_3=100$ Ω. Calcular la intensidad de corriente en cada rama.

VII. TRABAJO, POTENCIA DE LA CORRIENTE Y RENDIMIENTO

Una corriente eléctrica, que circula por una resistencia, realiza un trabajo

$$A = IUt.$$

Puesto que en los extremos del trozo de circuito $U = Ir$, entonces

$$A = I^2rt; \quad A = \frac{U^2}{r}t,$$

siendo A el trabajo de la corriente, en J;
U la tensión, en V;
I la intensidad de corriente, en A;
r la resistencia, en Ω;
t el tiempo, en s.

El trabajo de la corriente eléctrica por unidad de tiempo se llama potencia *:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{I \cdot U \cdot t}{t},$$

por consiguiente,

$$P = IU; \quad P = I^2r; \quad P = \frac{U^2}{r}.$$

La potencia total de una fuente de energía eléctrica es

$$P_{tot} = EI.$$

El rendimiento de una fuente de energía eléctrica se determina por la relación

$$\eta = \frac{P_{ut}}{P},$$

siendo P_{ut} la potencia útil, en W;
P la potencia consumida, en W.

Multiplicando la relación expuesta por 100, obtenemos el rendimiento en por ciento, es decir, $\eta\% = \frac{P_{ut}}{P} \cdot 100$.

El rendimiento se puede calcular también por la fórmula

$$\eta = \frac{P_{ut}}{P_{ut} + \Delta P}.$$

---

* La unidad principal de medida del trabajo de la corriente es el julio (J). Además, se utilizan también las unidades: vatio-segundo (Ws), vatio-hora (Wh), hectovatio-hora (hWh), kilovatio-hora (kWh): 1 Ws = 1 J, 1 Wh = 3600 J; 1 hWh = 360 kJ; 1 kWh = 3600 kJ.

** El vatio (W) es una unidad de medida de la potencia. La potencia también se mide en milivatios, hectovatios y kilovatios; 1 W = = 1000 mW; 1 hW = 100 W; 1 kW = 1000 W = 10 hW.

siendo ΔP las pérdidas de potencia en la fuente o en los conductores de conexión.

La magnitud de las pérdidas $\Delta P = I^2 r$,

siendo r la resistencia interna de la fuente de corriente o la resistencia de los conductores de conexión.

Problemas

176. ¿De cuántos julios consta 0,5 Wh; 15 Wh; 320 Wh; 0,8 Wh?

177. ¿Cuántos kilojulios contiene 1 hWh; 2,3 hWh; 2,16 hWh?

178. ¿Cuánta energía consume una lámpara conectada en una red de 120 V, si por su filamento pasa corriente de 0,5 A durante 12 horas?

179. Una instalación eléctrica consume corriente de 20 A durante una hora. El consumo de energía eléctrica es de 360 kJ. Determinar la tensión de la fuente de corriente que alimenta a la instalación.

180. La carga de una batería de acumuladores dura 2 horas, siendo la intensidad de corriente de 0,8 A y la tensión de 40 V. ¿Cuánta energía eléctrica se necesita para cargar los acumuladores?

181. ¿Cuánto tiempo habrá estado conectado un receptor de radio, si éste consumió corriente con intensidad de 0,6 A proveniente de una red de 120 V y el consumo de energía eléctrica resultó 1800 kJ?

182. Por un aparato con resistencia de 200 Ω, ha pasado una corriente $I = 15$ mA durante 50 horas. Determinar el consumo de energía eléctrica durante este tiempo.

183. Un resistor de alambre con resistencia de 24 Ω estuvo 10 horas bajo una tensión de 12 V. ¿Cuánta energía eléctrica consumió su calentamiento?

184. Un radiorreceptor que se alimenta de una red de 120 V de tensión, consume corriente con intensidad de 0,5 A. ¿Cuánta energía eléctrica consumirá durante 75 horas?

185. ¿Cuál será la resistencia de un circuito eléctrico, si el consumo de energía que se lee en un medidor es de 7,2 Wh; la instalación trabaja 5 horas a una tensión de 120 V?

186. ¿Cuál será la tensión de un elemento galvánico, si su capacidad es de 30 A·h y la energía de salida de 162 kJ?

187. Una taladradora eléctrica tiene un motor eléctrico que consume una potencia de 200 W. Esta taladradora estuvo conectada en la red durante 8 horas. ¿Cuánta energía eléctrica consumió durante este tiempo?

188. Diariamente una instalación se conectaba a una red de 220 V durante 2,5 horas, con la particularidad de que la intensidad de corriente consumida era de 2,28 A. Determinar el gasto de energía eléctrica pasados 26 días.

189. Una instalación está conectada a la red de 220 V. La intensidad de corriente que consume es 0,9 A. Determinar el gasto de energía eléctrica, si la instalación se conectó seis veces y trabajó 20 minutos cada vez.

190. Calcular la potencia de una lámpara eléctrica, a través de cuyos filamentos pasa corriente con intensidad de 0,314 A, si la tensión en sus bornas $U=120$ V.

191. El filamento de un tubo electrónico está conectado a una tensión $U=6,3$ V y por éste fluye corriente con intensidad de 0,9 A. Determinar la potencia absorbida por dicho filamento.

192. ¿Cuál será la intensidad de corriente que pasa por el devanado de un soldador eléctrico que trabaja a una tensión de 120 V, si su potencia es de 60 W?

193. A través de una resistencia de 10,7 Ω pasa corriente con intensidad de 20,5 A. Determinar la potencia de la resistencia y la tensión en sus bornas.

194. Un vatímetro conectado a una instalación eléctrica indica una potencia $P=1588,04$ W. La resistencia de la instalación es de 116 Ω. Determinar la corriente en su circuito.

195. Un calefactor eléctrico está conectado a una red de 220 V y por su resistencia fluye corriente de 4,5 A de intensidad. Determinar la potencia consumida por el calefactor.

196. La intensidad de corriente en una instalación eléctrica es de 4 A y su potencia consumida, 0,88 kW. Determinar la tensión de la red a la que está conectada.

197. Una lámpara de incandescencia de 300 W de potencia está conectada a una red de 220 V de tensión. Calcular la resistencia del filamento de la lámpara y la intensidad de corriente que circula por éste.

198. Determinar la pérdida de potencia en una resistencia de 15 Ω, si por ésta circula corriente con una intensidad de 0,2 A.

199. Por un conductor de cobre de 6 mm² de sección y 800 m de longitud circula una corriente con intensidad de 0,1 A. Determinar la pérdida de potencia que en éste tiene efecto.

200. ¿Cuál será la tensión que debe dar una fuente de corriente para encender el filamento de una lámpara, si se sabe que por éste circula una corriente con una intensidad de 0,3 A y la potencia absorbida es igual a 1,89 W?

201. Determinar la potencia absorbida por un resistor de 600 Ω de resistencia, si por él pasa una corriente con intensidad de 60 mA.

202. Un piso se alumbra con cuatro lámparas eléctricas de distinta potencia: $P_1=100$ W, $P_2=75$ W, $P_3=40$ W y $P_4=15$ W. Estas lámparas se encienden 4 horas diarias cada una durante 30 días. ¿Cuánto habrá que pagar por la energía eléctrica consumida por cada lámpara, si cada kilovatio-hora vale 4 kopeks?

203. Un voltímetro que mide la tensión en las bornas de una instalación eléctrica consume el 0,05% de toda la potencia absorbida por sus receptores calculados para 120 V de tensión. La instalación consta de 5 motores eléctricos acoplados en paralelo que consumen corriente de 0,75 A de intensidad y de 10 lámparas eléctricas de incandescencia conectadas en paralelo. A través de cada lámpara pasa corriente con una intensidad de 0,2 A. Calcular la resistencia del voltímetro.

204. Para hacer girar el inducido de un generador se usa un motor conectado a una red de 120 V de tensión. La intensidad de corriente en el circuito es de 25 A. Determinar la potencia del motor, si su rendimiento es 0,8.

205. Un motor eléctrico conectado a una red de 120 V trabajó 6 horas y el consumo de energía eléctrica durante este tiempo alcanzó 2880 kJ. Calcular la corriente consumida por el motor.

206. Determinar el rendimiento de un motor, si su potencia consumida es 2,5 kW y su potencia (útil) de salida, $P_{ut}=2,05$ kW.

207. Calcular la potencia útil de una taladradora eléctrica, si su rendimiento es 0,75 y la potencia absorbida, 1 kW.

Calcular la energía eléctrica consumida por la taladradora durante 12 horas.

208. Un motor eléctrico de corriente continua está conectado a la red de 120 V de tensión. La corriente que consume es igual a 12,4 A. Determinar el rendimiento de este motor, si su potencia de salida es 1,294 kW.

209. Calcular el rendimiento de una unidad que tiene un generador de 10 kW de potencia que se pone en movimiento por un motor de gasolina de 12,6 kW de potencia.

210. La tensión en las bornas de un circuito eléctrico en el que circula corriente de 0,015 A de intensidad, es igual a 15 V. Calcular el rendimiento de la fuente de corriente, si su resistencia interna es de 30 Ω.

211. Calcular el rendimiento de una fuente de corriente, si el amperímetro conectado en el circuito eléctrico indica 0,5 A. La resistencia de la parte exterior del circuito es de 200 Ω y la resistencia interna de la fuente de corriente, de 4 Ω.

212. Resistores con resistencias $r_1=10$ Ω, $r_2=5$ Ω, $r_3=2{,}5$ Ω están acoplados en serie a una batería de acumuladores que tienen una resistencia interna $r_0=0{,}5$ Ω. Calcular el rendimiento de la batería.

213. A través de una instalación eléctrica calefactora conectada a una red de 220 V de tensión, pasa corriente de 5 A de intensidad. Determinar la potencia del calefactor y el costo de su empleo durante 8 horas, si un kilovatio-hora de energía cuesta 4 kopeks.

214. A un generador de 120 V de tensión se ha conectado un voltímetro de 12 000 Ω de resistencia y una carga, por la que circula corriente con intensidad de 40 A. Determinar la potencia absorbida por el voltímetro y la potencia de salida del generador.

215. Cien lámparas eléctricas iguales están conectadas en paralelo y las alimenta una fuente de corriente de 120 V. La resistencia de cada lámpara es de 240 Ω. Calcular la potencia absorbida total y la potencia de cada lámpara.

216. Determinar la potencia útil de un motor, si su potencia absorbida es 5 kW y el rendimiento, 82%.

217. El rendimiento de un motor es igual a un 84%. La potencia absorbida por éste es de 8,5 kW. ¿Cuál será la potencia de salida de este motor?

VIII. EFECTO TERMICO DE LA CORRIENTE

La cantidad de calor que se desprende al pasar corriente eléctrica por un conductor viene expresada por la fórmula

$$Q = I^2rt,$$

siendo Q la cantidad de calor, en J;
I la intensidad de corriente, en A;
r la resistencia, en Ω;
t el tiempo, en seg.

La intensidad de corriente $I=\frac{U}{r}$, por eso la cantidad de calor es

$$Q = \frac{U^2}{r}t.$$

Puesto que la tensión $U = Ir$, la cantidad de calor se puede calcular también por la fórmula

$$Q = IUt.$$

Teniendo en cuenta el rendimiento del calefactor, la cantidad de calor se puede expresar del siguiente modo

$$Q = IUt\eta,$$

siendo η el rendimiento del calefactor.

En virtud de que la potencia de la corriente eléctrica $P=IU$, tendremos que la cantidad de calor será

$$Q = Pt,$$

siendo P la potencia, en W;
t el tiempo, en seg.

Al elegir los conductores es necesario tener en cuenta la densidad admisible de la corriente para la sección dada. La densidad de corriente es

$$\delta = \frac{I}{S},$$

siendo δ la densidad de la corriente, en A/mm²;
I la intensidad de corriente, en A;
S la sección del conductor, en mm².

Problemas

218. La intensidad de corriente en el devanado de un soldador eléctrico es 0,6 A. La resistencia del devanado es de 200 Ω. Determinar la cantidad de calor que se desprende en 1 hora (3600 seg).

219. Determinar la intensidad de corriente que se necesita para soldar unos conductores, si la resistencia de las zonas a soldar es de 0,005 Ω, la soldadura dura 1,2 seg y en este caso se desprenden 6000 J de calor.

220. Una corriente, al circular por un circuito, realiza un trabajo $W=3600$ W·seg. Determinar la cantidad de calor que se desprende.

221. Durante 20 minutos por la resistencia de un calefactor circula una corriente de 4 A. Calcular la cantidad de calor que se desprende durante el tiempo indicado, si la resistencia es de 30 Ω.

222. Determinar la intensidad de corriente que pasa por un baño electrolítico, cuya resistencia es de 46 Ω, si durante 40 minutos se desprenden 2760 kJ de calor.

223. Un calefactor estuvo conectado durante 30 minutos en la red de 220 V de tensión y por su resistencia pasó una corriente de 4,5 A. El rendimiento del calefactor $\eta=0,6$. ¿Cuál será la cantidad de calor que se desprendió durante el funcionamiento del calefactor?

224. Un circuito eléctrico que consta de tres resistencias $r_1=5\ \Omega$, $r_2=12\ \Omega$, $r_3=20\ \Omega$ acopladas en serie, va conectado a una red de 120 V. Determinar la intensidad de corriente en este circuito en condiciones normales y en cortocircuito, si la resistencia de los conductores es de 3 Ω. ¿Qué cantidad de calor se liberará durante 1 minuto, en un caso y en el otro?

225. Por el filamento de una radiolámpara con resistencia de 21 Ω pasa una corriente de 0,3 A. ¿Cuánto calor habrá desprendido el filamento, si la lámpara estuvo conectada 40 minutos?

226. Un contador indica que un hornillo ha consumido 500 Wh de energía eléctrica. ¿Cuánto calor desprendió el hornillo durante su funcionamiento?

227. Un soldador eléctrico absorbe por término medio $P=3$ kW de potencia al soldar piezas. ¿Cuánta energía eléctrica consumirá el soldador en 30 minutos?

228. Un receptor absorbe una potencia de 200 V de energía eléctrica para su calentamiento. ¿Cuánto calor se desprende en 1,5 horas de trabajo?

229. Durante 20 minutos, una plancha eléctrica conectada a una red de 120 V, consume corriente de 2,3 A de intensidad. ¿Cuánto calor se desprende durante este tiempo?

230. Determinar la cantidad de calor desprendido por una corriente en un calefactor durante 0,25 horas, si su resistencia es de 22 Ω y la tensión de la red, de 220 V.

231. Determinar la intensidad de corriente que se puede dejar pasar por el devanado de un aparato, si el diámetro del alambre es de 2 mm y la densidad de la corriente no excede de 2,7 A/mm².

IX. EFECTO QUIMICO DE LA CORRIENTE ELECTRICA

Conforme a la ley de Faraday el peso (la cuantía) de la substancia liberada de un electrólito por el paso de una corriente eléctrica es proporcional a la intensidad de corriente, al tiempo durante el que circuló la corriente por el electrólito y al equivalente electroquímico de la substancia

$$m = kIt,$$

siendo m el peso de la substancia, en mg;
k el equivalente electroquímico de la substancia, en mg/A·s;
I la intensidad de corriente, en A;
t el tiempo, en s.

Si en la fórmula expuesta se pone el valor del equivalente k en g/A·h y el tiempo t en horas, tendremos el peso de la substancia en gramos.

En virtud de que la cantidad de electricidad $Q = It$, sustituyendo esta expresión en la fórmula $m = kIt$, obtendremos

$$m = kQ.$$

Las fuentes químicas de corriente continua, es decir, los elementos galvánicos y los acumuladores se acoplan en serie, en paralelo y en serie-paralelo a la batería.

Si los elementos (o los acumuladores) se acoplan en serie, la f.e.m. de la batería es

$$E_b = en,$$

y su resistencia interna

$$r_b = r_0 n,$$

siendo e la f.e.m. de un elemento, en V;
n la cantidad de elementos;
r_0 la resistencia interna de un elemento, en Ω.

La capacidad del elemento (o del acumulador) es

$$Q = I_{des} t \text{ A·h},$$

siendo I_{des} la intensidad de corriente de descarga, en A;
t el tiempo de la descarga, en h.

La intensidad de corriente en el circuito de una batería que consta de n elementos (o acumuladores) acoplados en serie se determina por la fórmula

$$I = \frac{en}{r + r_0 n},$$

siendo I la intensidad de corriente, en A;
r la resistencia de la parte exterior del circuito, en Ω;

r_0 la resistencia interna del elemento, en Ω.

En caso de que los elementos (o acumuladores) se hayan conectado en p a r a l e l o la f.e.m. de la batería es

$$E_b = e,$$

siendo e la f. e. m. de un elemento, en V.

La resistencia interna es

$$r_{0_b} = \frac{r_0}{n},$$

siendo n el número de elementos conectados en paralelo.

La intensidad de corriente en el circuito de la batería

$$I = \frac{e}{r + \frac{r_0}{n}}.$$

La capacidad total de una batería en la que la conexión es en paralelo será de

$$Q_b = Q_1 + Q_2 + \cdots + Q_n,$$

siendo $Q_1, Q_2, \cdots Q_n$ la capacidad de cada elemento, en $A \cdot h$.

En caso de que los elementos (o acumuladores) se encuentren acoplados en **serie-paralelo** la f. e. m. de la batería será de

$$E_b = en,$$

la resistencia interna de esta batería es

$$r_{0_b} = \frac{r_0 n}{m},$$

siendo e la f.e.m. de un elemento, en V;
r_0 la resistencia interna de un elemento, en Ω;
n la cantidad de elementos en el grupo;
m la cantidad de grupos paralelos en la batería.

El número de elementos que conviene acoplar en serie en el grupo se determina por la fórmula

$$n = \frac{E_b}{e}.$$

El número de grupos acoplados en paralelo se calcula de acuerdo con la fórmula

$$m = \frac{I_{des}}{I_{ad}}.$$

siendo I_{des} la intensidad de corriente de descarga, en A;
I_{ad} la intensidad admisible de la corriente de descarga, en A.

La intensidad de corriente en el circuito de la batería que consta de elementos (o de acumuladores) acoplados en serie-paralelo se expresa

$$I = \frac{en}{r + \frac{r_0 n}{m}}.$$

La intensidad de corriente de carga de la batería se determina por la fórmula

$$I = \frac{U - U_b}{r_{reós}},$$

siendo U la tensión de carga de la batería, en V;
U_b la tensión de la batería a cargar, en V;
$r_{reós}$ la resistencia del reóstato en el circuito de carga, en Ω.

La intensidad máxima de la corriente de carga

$$I_{max} = \frac{U - U_{b\,mín}}{r_{reós}}.$$

La intensidad mínima de la corriente de carga

$$I_{mín} = \frac{U - U_{b\,max}}{r_{reós}}.$$

La resistencia del reóstato al comenzar la carga

$$r_{reós\,mín} = \frac{U - U_{b\,max}}{I}.$$

La resistencia del reóstato al final de la carga

$$r_{reós\,max} = \frac{U - U_{b\,mín}}{I}.$$

Tabla 3

Equivalentes electroquímicos de algunas substancias

Material	Equivalente electroquímico	
	mg/A·s	g/A·h
Cobre (de electrólito ácido)	0,328	1,186
Cobre (de electrólito cianurado)	—	2,372
Níquel	0,304	1,095
Cinc	0,338	1,220
Plomo	1,071	3,865
Plata	1,118	4,025

Peso específico de algunos materiales (g/cm³)

Cobre	8,95
Níquel	8,8
Cinc	7,14
Plomo	11,34
Plata	10,5
Cromo	7,14

232. ¿Qué cantidad de cobre puro se libera de una solución de vitriolo azul, si por la misma circuló durante 150 seg una corriente de 5 A de intensidad?

233. Por una solución de sulfato níqueloso se hizo pasar durante 6 minutos una corriente electrolítica, cosa que dio por resultado que en el cátodo se depositaron 180 mg de níquel puro. Determinar la intensidad de corriente que pasó por el electrólito.

234. Al pasar corriente con intensidad de 2 A por una solución de nitrato de plata se liberaron 800 mg de plata. ¿Durante cuánto tiempo circuló la corriente por esta solución?

235. ¿Cuánto cobre se liberará de una solución de vitriolo azul, si a través de ésta han pasado 120 C de electricidad?

236. El niquelado de unas piezas duró 4 horas haciendo uso de una corriente de 0,25 A. ¿En cuánto aumentó el peso de las piezas durante este tiempo?

237. Determinar el equivalente electroquímico de una substancia, sí se sabe que a una corriente de 10 A, durante 10 minutos se liberaron 560 mg de substancia.

238. Tres piezas con una superficie de 0,4 dm^2 cada una se introdujeron en un electrólito que contenía plata. Durante 3 horas la intensidad de corriente por cada decímetro cuadrado de superficie de las piezas fue de 0,2 A. Calcular el espesor de la plata que recubrió las piezas, si el peso específico de la plata es de 10,5 $\frac{g}{cm^3}$.

Solución. La superficie total de las tres piezas es $0,4 \cdot 3 = 1,2$ dm^2.

La intensidad de la corriente que pasó por el electrólito $I = 0,2 \cdot 1,2 = 0,24$ A.

El peso de la plata que recubrió las piezas es $m = klt = 1,118 \cdot 0,24 \cdot 3 \cdot 3600 = 2897$ mg $= 2,897$ g.

El volumen de la plata es $2,897 : 10,5 = 0,276$ cm^3.

El espesor de la capa de plata es $0,276 : 120 = 0,002$ mm.

239. En un baño de agarre para el niquelado se sumergió una pieza. Un electrodo de níquel de 10 g hizo las veces de ánodo. Calcular el tiempo que tarda en consumirse el electrodo de níquel, si por el electrólito del baño pasa continuamente una corriente de 6 A.

240. ¿Cuál será la substancia que contiene una solución, si al circular por ésta durante 5 minutos una corriente de 4 A se depositaron en el cátodo 405,6 mg de esta substancia?

241. Determinar la cantidad de cobre que se deposita en un cátodo, si durante 0,5 horas circuló una corriente de 50 A a través de una solución de sulfato cúprico.

242. Hallar el tiempo indispensable para obtener una película de níquel de 12 μ de espesor, aplicando una corriente de 1,5 A/dm² y una salida de corriente de un 94%.

Solución. El peso de la película de níquel de 12 μ de espesor (0,0012 cm) depositada sobre 1 cm² de superficie, es

$$P = \gamma v,$$

siendo γ el peso específico;
v el volumen del metal.

$$P = 1 \cdot 0{,}0012 \cdot 8{,}8 = 0{,}01056 \text{g}.$$

La duración de la electrólisis viene dada por

$$t = \frac{m}{kI} = \frac{0{,}01056}{1{,}095 \cdot 0{,}015} = 0{,}64 \text{ horas}.$$

El tiempo efectivo que requiere la obtención de una película de níquel de 12 μ será más prolongado:

$$t_{ef} = \frac{0{,}64}{0{,}94} = 0{,}67 \text{ horas}.$$

243. El plateado de una pieza de 2 dm² de área duró 30 minutos, siendo la densidad de corriente de 0,5 A/dm². ¿Cuánta plata se depositó en la pieza?

Solución. La intensidad de corriente, a la que se realizó la electrólisis, es

$$I = \delta S = 0{,}5 \cdot 2 = 1\text{A}.$$

La cantidad de substancia que se liberó es

$$m = kIt = 1{,}118 \cdot 1 \cdot 1800 = 2012{,}4\text{mg} = 2{,}012\text{g}.$$

244. Tres acumuladores alcalinos están acoplados en serie, las f.e.m. de cada uno son, correpondientemente, iguales a $e_1 = 1{,}3$ V, $e_2 = 1{,}23$ V, $e_3 = 1{,}25$ V. Calcular la f.e.m. total de la batería.

245. La f.e.m. total de una batería que consta de cuatro elementos acoplados en serie es de 5,5 V. Tres elementos de esta batería poseen una f.e.m. de 1,4 V cada uno. Determinar la f.e.m. del cuarto elemento.

246. Dos elementos galvánicos están acoplados en serie. La resistencia interna de cada uno de estos es de 0,5 Ω. Determinar la resistencia interna de la batería.

247. Cuatro elementos de carbón-cinc están acoplados en serie. La resistencia interna del primer elemento es de 1,7 Ω, la del segundo, de 1,2 Ω, la del tercero, de 2,5 Ω y la del cuarto, de 3 Ω. Calcular la resistencia interna de la batería.

248. La resistencia interna de una batería de acumuladores que consta de 10 acumuladores ácidos acoplados en serie, es igual a 0,04 Ω. Determinar la resistencia interna de cada acumulador.

249. Determinar la intensidad de corriente que circula por un circuito eléctrico con resistencia de 100 Ω, si la fuente de energía eléctrica conectada al circuito es una batería de 20 elementos de carbón-cinc acoplados en serie. La resistencia interna de cada elemento de la batería es de 0,3 Ω y la f.e.m. es de 1,5 V.

250. ¿Cuántos acumuladores ácidos conviene acoplar en serie a una batería para que por el circuito con resistencia externa de 20 Ω circule una corriente de 3 A de intensidad, si es sabido que la f.e.m. del acumulador ácido es de 2 V y la resistencia interna es de 0,005 Ω?

251. ¿Qué corriente circulará por el circuito de una batería de tres elementos acoplados en serie, si la f.e.m. de cada elemento es de 1,45 V, la resistencia interna, de 0,5 Ω y la resistencia del trozo exterior de circuito, de 30 Ω?

252. Determinar la resistencia interna de un elemento, cuya f.e.m. es de 1,4 V, si el elemento está cerrado en la resistencia exterior de 12 Ω y por el circuito pasa corriente de 0,1 A de intensidad.

253. Una batería que consta de 10 acumuladores acoplados en serie está conectada a una resistencia de 15 Ω. Calcular la intensidad de corriente en el circuito, si la f.e.m. de cada acumulador es de 2 V y la resistencia interna de 0,004 Ω.

254. Determinar la intensidad de corriente que circula por el circuito de una batería que consta de 10 acumula-

dores alcalinos acoplados en serie, si la f.e.m. de cada acumulador es de 1,25 V, la resistencia interna de 0,03 Ω y la resistencia del circuito, de 499,7 Ω.

255. ¿Cuántas horas debe estar conectada una fuente de corriente para que su capacidad disminuya en 17,45 A-h, siendo la intensidad de corriente de 0,15 A?

256. Doce elementos de carbón-cinc están acoplados en paralelo. La f.e.m. de cada uno de ellos es de 1,4 V. Determinar la f.e.m. de la batería y su resistencia interna, si la de cada elemento de carbón-cinc es de 0,6 Ω.

257. Cinco acumuladores ácidos están acoplados en paralelo. La resistencia interna total de esta batería es de 0,0008 Ω. Determinar la resistencia interna de cada acumudador.

258. Calcular la corriente total que proporciona una batería de 8 elementos de carbón-cinc acoplados en paralelo, si cada elemento proporciona una corriente de 0,3 A.

259. Determinar la intensidad de corriente que circula por un circuito eléctrico de resistencia exterior de 600 Ω, si la fuente de corriente conectada a este circuito consta de 10 elementos galvánicos acoplados en paralelo. La f.e.m. de cada elemento es de 1,4 V y la resistencia interna, de 0,5 Ω.

Solución. La f.e.m. de la batería es $E_b = e = 1{,}4$ V. La intensidad de corriente se determina por la fórmula

$$I = \frac{e}{r + \frac{r_0}{n}} = \frac{1{,}4}{600 + \frac{0{,}5}{10}} \approx 0{,}0023 \text{ A} \approx 2{,}3 \text{ mA}.$$

260. Diez acumuladores alcalinos están acoplados en paralelo y se les ha conectado un circuito de 100 Ω de resistencia. Calcular la intensidad de corriente en este circuito, si la f.e.m. de cada acumulador es de 1,3 V y la resistencia interna, de 0,008 Ω.

261. Para alimentar un aparato que tiene una resistencia de 100 Ω se ha construido una batería de dos grupos de acumuladores ácidos acoplados en paralelo. En cada grupo hay 8 acumuladores acoplados en paralelo. La f.e.m. de cada acumulador es de 2 V y la resistencia interna, de 0,005 Ω. Determinar la lectura del amperímetro conectado en el circuito.

262. Determinar la intensidad de corriente en un circuito eléctrico que consta de dos resistencias acopladas

en serie: $r_1=36\ \Omega$ y $r_2=72\ \Omega$, si esta intensidad se alimenta desde una batería de 12 elementos galvánicos acoplados en paralelo. La f.e.m. de cada elemento es de 1,4 V y la resistencia interna, de 2,5 Ω.

263. La capacidad de unos elementos de óxido cúprico es de 1000 A·h. ¿Cuántas horas servirá un elemento, siendo la intensidad de corriente de descarga de 2 A?

264. Una batería consta de cuatro grupos paralelos de 10 elementos cada uno. La resistencia interna de un elemento es de 2 Ω y la f.e.m. es de 1,5 V. La batería lleva conectado un receptor de energía eléctrica con una resistencia de 150 Ω. Calcular la intensidad de corriente que circula por el circuito.

265. Unos elementos de hierro-carbón con despolarización de aire, utilizados para alimentar un alumbrado portátil, estacionario y de emergencia, tienen una tensión inicial de 0,75 V y la intensidad de su corriente de descarga es de 0,5 A. ¿Qué resistencia se debe conectar en el circuito de este elemento para que por éste circule corriente de la intensidad indicada? ¿Cuántas horas trabajará un elemento, si su capacidad es de 500 A·h?

266. Una batería de elementos acoplados en serie-paralelo consta de 5 grupos. Cada grupo tiene 15 elementos acoplados en serie. Determinar la f.e.m. de toda la batería, si la f.e.m. de cada elemento es de 1,45 V.

267. ¿Cuántos elementos será necesario acoplar en serie-paralelo para que se pueda obtener de una batería una f.e.m. de 24 V y una corriente con intensidad de 0,3 A? La f.e.m. de cada elemento es de 1,4 V, la intensidad admisible de la corriente de descarga es de 0,15 A.

268. A un circuito eléctrico se han conectado una resistencia de 150 Ω y una batería que consta de 20 acumuladores alcalinos acoplados en serie-paralelo. En cada uno de los cuatro grupos se encuentran conectados 5 acumuladores con tensión de 1,3 V. La resistencia interna de la batería es de 0,003 Ω. Determinar la intensidad de corriente que circula por una carga de 150 Ω de resistencia.

269. Para alimentar de energía eléctrica una instalación de 0,6 kW de potencia, a una tensión de 120 V, se necesita una batería de acumuladores. Determinar el número de acumuladores ácidos que deben conectarse a la batería y la forma en que conviene conectarlos entre

sí, si la f.e.m. de cada acumulador es de 2 V y la intensidad de la corriente de descarga es de 0,5 A.

270. 15 acumuladores ácidos están conectados en cinco grupos paralelos. Cada grupo consta de tres acumuladores acoplados en serie. La resistencia exterior es de 80 Ω. Determinar la intensidad de corriente que pasa por este circuito, si la f.e.m. de cada acumulador es de 2 V y la resistencia interna, de 0,004 Ω.

271. Una batería que consta de cuatro elementos acoplados en paralelo está conectada a una carga de 0,3 Ω. La f.e.m. de cada elemento es de 1,5 V y la resistencia interna, de 0,6 Ω. Determinar la intensidad de la corriente que pasa por el circuito y la intensidad de la corriente de descarga de cada elemento.

272. ¿Qué número de elementos de una batería será necesario acoplar en paralelo, si la f.e.m. de cada elemento es de 1,6 V, la resistencia interna, de 0,6 Ω y la batería está conectada a una resistencia de 0,12 Ω, en tanto que la intensidad de corriente en la resistencia es de 5 A?

273. Una batería de acumuladores que consta de 35 acumuladores alcalinos se debe cargar con corriente de 5 A proveniente de una fuente de corriente continua, cuya tensión es de 72 V. La tensión de cada acumulador es de 0,9 V. Determinar la resistencia del reóstato al iniciar y finalizar la carga de la batería.

274. Una batería de acumuladores a cargar consta de 30 acumuladores ácidos. La tensión de cada acumulador es de 1,83 V. A la batería se ha conectado un reóstato de 5 Ω de resistencia y una fuente de corriente continua de 110 V. Determinar la intensidad de corriente al iniciar y finalizar la carga de la batería.

X. ELECTROMAGNETISMO

Si un conductor por el que fluye corriente eléctrica se coloca perpendicularmente a las líneas de fuerza de un campo magnético sobre el conductor actuará una fuerza

$$F = BIl,$$

siendo F la fuerza, en N;
I la intensidad de corriente, en A;

l la longitud de servicio del conductor, en m;
B la inducción magnética, en T *.

De la igualdad $F=BIl$ se deduce que la inducción magnética

$$B = \frac{F}{Il}.$$

El flujo magnético $\Phi=BS$,

siendo Φ el flujo magnético, en Wb **;
B la inducción magnética, en T;
S el área de la sección del conductor situado perpendicularmente a las líneas magnéticas del campo, en m^2.

La permeabilidad absoluta

$$\mu_a = \mu_0\mu,$$

siendo μ_0 la permeabilidad magnética (constante magnética) de vacío que es igual a $1{,}256 \cdot 10^{-6}$ H/m;
μ la permeabilidad relativa que es una magnitud adimensional.

En los cálculos técnicos la permeabilidad relativa de los materiales diamagnéticos y paramagnéticos se toma igual a la unidad.

La intensidad del campo magnético (A/m) se determina por la fórmula

$$H = \frac{B}{\mu_a} = \frac{B}{\mu_0\mu}.$$

En el sistema CGSM la intensidad del campo magnético se expresa en erstedios: 1 erstedio=80 A/m.

La intensidad del campo magnético en el interior de un solenoide se determina por la fórmula ***

$$H = \frac{Iw}{l},$$

siendo I la intensidad de corriente, en A;
w la cantidad de espiras;
l la longitud del solenoide, en m;
Iw la fuerza magnetomotriz o magnetizante.

El flujo magnético del electroimán $\Phi=BS$. Puesto que $B=\mu_a H$, tendremos

$$\Phi = \mu_a HS.$$

Poniendo en esta fórmula el valor de $H = \frac{Iw}{l}$, tendremos

$$\Phi = \mu_a \frac{Iw}{l} S = \frac{Iw}{\frac{l}{\mu_a S}} = \frac{Iw}{r_{mag}},$$

---

* En el sistema de unidades CGSM la inducción magnética se mide en gauss (Gs);
1 T = 10 000 Gs.

** En el sistema de unidades CGSM el flujo magnético se mide en maxwell (Mx):
1 Wb = 100 000 000 Mx = 10^8 Mx.

*** Esta fórmula da resultados satisfactorios, siendo $l \geqslant 10\,d$.

siendo Φ el flujo magnético, en Wb;
μ_a la permeabilidad absoluta, en H/m;
I la intensidad de corriente, en A;
w la cantidad de espiras;
S el área de la sección del núcleo, en m^2;
l la longitud del núcleo, en m.

La fuerza de atracción del polo de un electroimán axial es igual a:

$$F = \frac{B^2 S}{8\pi} \cdot 10^7.$$

En el caso de dos polos:

$$F = \frac{2B^2 S}{8\pi} \cdot 10^7 = \frac{B^2 S}{4\pi} \cdot 10^7.$$

La ley de Ohm en un circuito magnético se expresa en términos de la fórmula

$$\Phi = \frac{F}{r_{mag}},$$

siendo Φ el flujo magnético, en Wb;
F la f.m., en N;

r_{mag} la resistencia magnética del circuito, en $\frac{1}{H}$. Poniendo en la fórmula $\Phi = \frac{F}{r_{mag}}$ los valores de la f.m. $F = Iw$ y la resistencia magnética $r_{mag} = \mu \frac{l}{M_a S}$, obtenemos

$$\Phi = \frac{Iw}{\frac{l}{\mu_a S}}.$$

Problemas

275. La inducción magnética es igual a 20 000 Gs. ¿Cuál será su valor expresado en T?

276. Expresar una inducción magnética igual a 1,5 T, en Gs.

277. La intensidad de un campo magnético es de 90 A/m y la inducción magnética del acero es de 1,8 T. Determinar la permeabilidad absoluta del acero.

278. La intensidad de un campo magnético es de 10 A/m, la permeabilidad relativa del acero, en presencia del campo, es $\mu = 3000$. ¿Cuál será la magnitud de la inducción magnética en este material?

279. La permeabilidad relativa del acero recocido es de 7000 y la inducción magnética, de 0,5 T. Calcular la intensidad del campo magnético.

280. Una barra de acero de 0,06 m^2 se halla en presencia de un campo magnético homogéneo. Su inducción magnética es de 0,35 T. Determinar la magnitud del flujo magnético en esta barra.

281. Un flujo magnético del polo de un imán recto es igual a 0,0004 Wb y la inducción magnética en el acero con el que se ha fabricado dicho imán es de 0,2 T. Determinar el área de la sección transversal del imán.

282. El flujo magnético de un imán recto permanente es de 0,0002 Wb y el área de la sección transversal del polo (inductor) es de 0,004 m^2. Determinar la inducción magnética en el material del que se ha hecho este imán.

283. La inducción magnética en el acero de un imán de herradura permanente es de 0,4 T y el área de la sección transversal de cada polo es de 0,0004 m^2. Calcular la fuerza de atracción de los dos polos del imán.

284. ¿Con qué fuerza actúa un campo magnético uniforme sobre un conductor que está dispuesto perpendicularmente a las líneas magnéticas, si la inducción magnética de este campo es 1,5 T y la intensidad de corriente en el conductor, cuya longitud de servicio alcanza 0,4 m, es igual a 5 A?

285. Determinar la intensidad de corriente en un conductor situado perpendicularmente a las líneas magnéticas de un campo magnético uniforme, si se sabe que la inducción magnética es igual a 1 T, la longitud de servicio del conductor alcanza 0,2 m y el campo actúa sobre éste con una fuerza de 3 N?

286. Calcular la longitud de servicio de un conductor situado en un campo magnético uniforme perpendicularmente a las líneas de fuerza magnética, si se sabe que la inducción magnética es igual a 0,8 T, la tensión de corriente en el conductor alcanza 0,25 A y el conductor es expulsado del campo con una fuerza de 0,4 N.

287. ¿Cuál será la inducción magnética de un campo magnético uniforme, en el que se encuentra un conductor con corriente, si la intensidad de esta corriente es de 200 mA y el conductor, de longitud igual a 0,125 m, se desplaza en el campo con una fuerza de 0,01 N?

288. La intensidad de corriente en una bobina de núcleo toroidal es de 0,4 A. La cantidad de espiras en la bobina $w=300$. La longitud media del núcleo es de 0,2 m. Determinar la intensidad del campo magnético.

289. Calcular el flujo magnético en un núcleo de acero de 12×18 cm de sección, si la inducción magnética $B = 8000$ Gs (CGSM).

290. Una barra de acero de 0,06 m^2 de área se halla en presencia de un campo magnético. Determinar la magnitud del flujo magnético en la barra, si la inducción magnética $B = 0{,}35$ T.

291. La intensidad de corriente en un solenoide de 0,25 m de longitud y que tiene $w = 100$ espiras es de 0,04 A. Calcular la intensidad de campo en el interior del solenoide.

292. Calcular el flujo magnético en un solenoide del que se conoce que el área de la sección transversal es de 0,09 m^2, el número de espiras, 500, la longitud, de

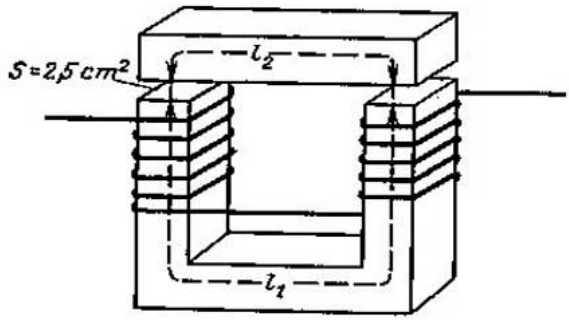


Fig. 30

0,3 m y la intensidad de la corriente que pasa por él es de 0,5 A.

293. La inducción magnética en el núcleo de un electroimán es de 1,2 T y el área de la sección transversal del núcleo, de 0,12 m^2. ¿Cuál será la magnitud del flujo magnético generado por este electroimán?

294. La longitud del núcleo de un electroimán es de 0,08 m y el área de la sección transversal, de 0,01 m^2. Determinar el flujo magnético del electroimán, si su devanado consta de 2000 espiras y la intensidad de corriente en éste es de 0,02 A. La permeabilidad relativa del material del núcleo $\mu = 1500$.

295. El núcleo de un electroimán bipolar tiene 0,0025 m^2 de sección transversal y la inducción magnética es de 0,4 T. Determinar su fuerza de atracción.

296. Calcular la magnitud de la resistencia magnética de un circuito magnético, si el área de su sección transversal es de 0,001 m^2 y la longitud de 0,03 m. La permeabilidad relativa del acero $\mu=1000$.

297. Determinar la resistencia magnética de un circuito magnético (fig. 30), si la longitud del núcleo $l_1=0{,}28$ m, la longitud del inducido $l_2=0{,}12$ m, la separación entre el inducido y el núcleo $l_3=0{,}003$ m y el área de la sección transversal del núcleo $S=0{,}00025$ m^2. La permeabilidad relativa del material del núcleo y del inducido $\mu=2000$.

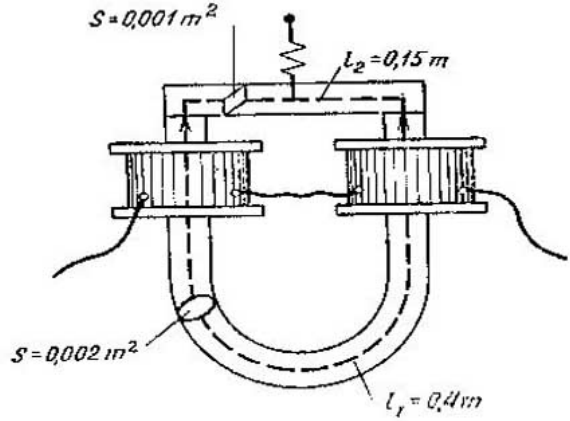


Fig. 31

Solución. La longitud del camino del circuito magnético en el acero

$$l_{ac}=0{,}28+0{,}12=0{,}4m.$$

La longitud del camino del circuito magnético en el aire $l_{air}=2\ l_3=2\cdot 0{,}003=0{,}006$ m.

La resistencia magnética del circuito se compone de la resistencia magnética del núcleo y de la resistencia del entrehierro:

$$r_{mag}=\frac{l_{ac}}{\mu_0\mu S}+\frac{l_{air}}{\mu_0\mu S}=\frac{0{,}4}{12{,}56\cdot 10^{-7}\cdot 2000\cdot 0{,}00025}+$$

$$+\frac{0{,}006}{12{,}56\cdot 10^{-7}\cdot 1\cdot 0{,}00025}\approx 64\,000+20\,000\,000\approx$$

$$\approx 20\,064\,000\ \frac{1}{H}.$$

298. Determinar el flujo magnético de un electroimán si su f. m. m. es de 234 Av y la resistencia magnética $r_{mag}=0{,}078$ 1/H.

299. El circuito magnético de un electroimán está representado en la fig. 31. La cantidad de espiras de su devanado $w=6000$, la intensidad de corriente en el de-

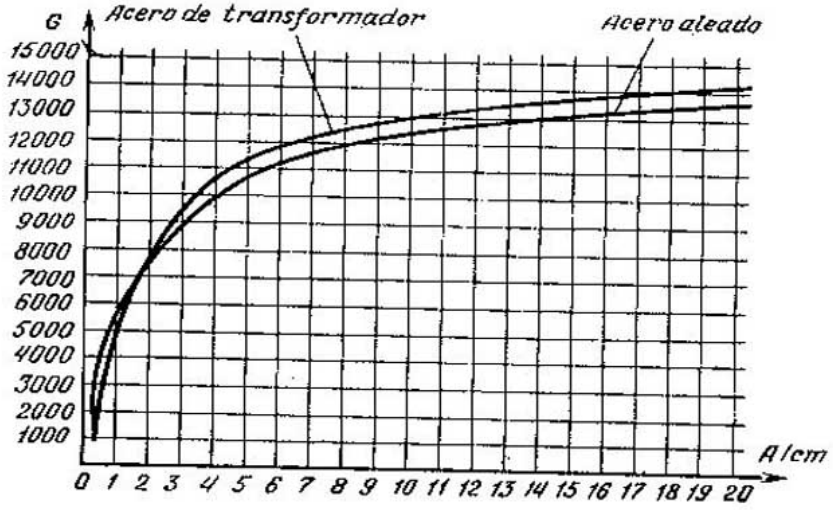


Fig. 32

vanado es de 25 mA, la permeabilidad relativa del núcleo y del inducido $\mu=2000$. Determinar:

a) la fuerza magnetomotriz;
b) la resistencia magnética;
c) el flujo magnético;
d) la fuerza de atracción del electroimán.

300. Un núcleo está hecho de acero aleado. Su longitud media es de 24 cm. Determinar la f.m.m., si la inducción magnética $B=10\,000$ Gs (CGSM) ó 1 T (SI).

Solución. La intensidad de campo $H=\frac{Iw}{l}$, de aquí que la f.m.m. $Iw=Hl$. En la fig. 32 vemos que la intensidad del campo magnético $H=3{,}5$ A/cm [siendo $B=10\,000$ Gs (ó 1 T), por consiguiente, $Iw=3{,}5\cdot 24=$ $=84$ Av].

301. Calcular la intensidad de la corriente que debe fluir por el devanado de una bobina (fig. 33, *a*), si la inducción magnética en el entrehierro de 0,0016 m² de sección es igual a 0,6 T. El número de espiras $w=300$. La longitud del entrehierro $l_{air}=0{,}001$ m, la longitud media de la línea de inducción en el núcleo $l_{ac}=0{,}6$ m y el área de su sección transversal $S=0{,}0016$ m². El coeficiente de dispersión magnética se toma igual a cero.

Solución. El flujo magnético en el entrehierro y en el acero del núcleo $\Phi=BS=0{,}6\cdot0{,}0016=0{,}00096$ Wb.

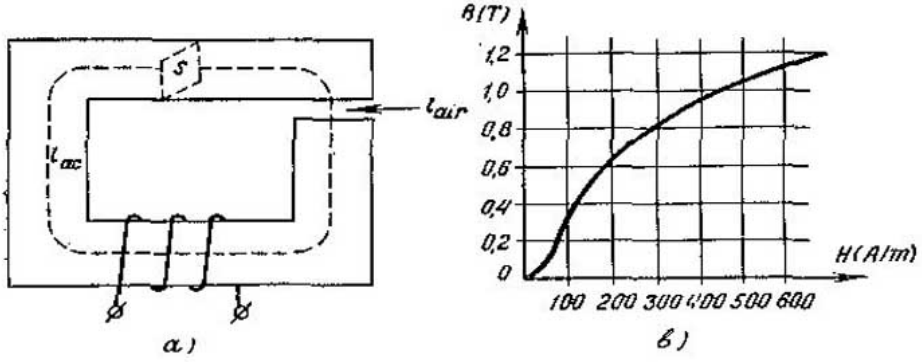


Fig. 33

La curva de magnetización (fig. 33, *b*) nos permite determinar la intensidad del campo magnético en el acero cuando la inducción magnética $B=0{,}6$ T. Esta intensidad es igual a 200 A/m. El número de amperivueltas en el acero lo determinamos de acuerdo con la ecuación $H_{ac}=\frac{Iw}{l_{ac}}$:

$$Iw = H_{ac}\, l_{ac} = 200\cdot 0{,}6 = 120\text{Av}.$$

La intensidad del campo magnético en el entrehierro

$$H_{ent} = \frac{B}{\mu_0} = \frac{0{,}6}{1{,}256\cdot 10^{-6}} = 48\cdot 10^4 \text{ A/m}.$$

El número de amperivueltas en el entrehierro

$$Iw = H_{ent} l_{air} = 48\cdot 10^4\cdot 0{,}001 = 480\text{Av}.$$

La f. m. m. de la bobina

$$F = H_{ac}l_{ac} + H_{ent}l_{air} = 120 + 480 = 600\text{Av}.$$

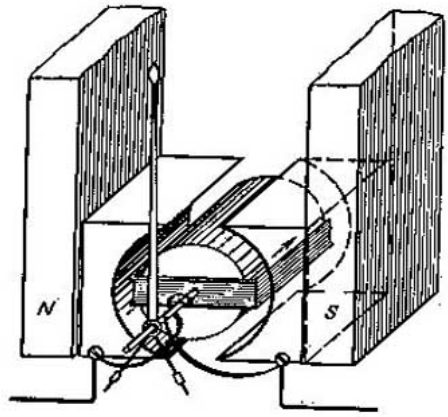


Fig. 34

La intensidad de la corriente que circula por la bobina es

$$I = \frac{F}{\omega} = \frac{600}{300} = 2\text{A}.$$

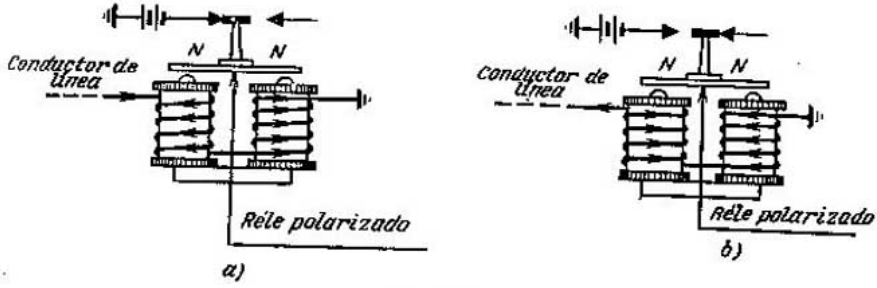


Fig. 35

302. ¿En qué dirección se desplazará la armadura que porta la aguja del instrumento electromagnético de medición cuando por el devanado de la armadura pasa una corriente como lo indica la flecha en la fig. 34?

303. ¿Cuál es el núcleo que atrae el inducido de un relé polarizado, si los polos del inducido imantado y

el núcleo están situados como se muestra en la fig. 35, *a* y *b*, y la corriente circula por el electroimán tal como lo indican las flechas?

304. ¿En qué sentido circula la corriente por el devanado de un electroimán, si sus polos están dispuestos como se muestra en la fig. 36, *a* y *b*? ¿Cómo conectar el devanado de estas dos bobinas del electroimán (fig. 36

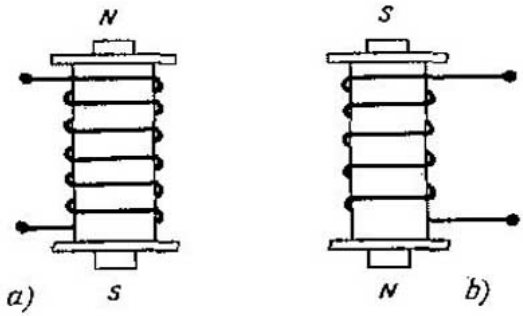


Fig. 36

para que al paso de la corriente por las mismas, en los extremos de los núcleos aparezcan polos de signos opuestos?

XI. INDUCCION ELECTROMAGNETICA

Al intersecar un conductor las líneas de fuerza magnética (al variar el flujo magnético que pasa por el área subtendida por el circuito) en el conductor (circuito) se genera una f.e.m. de inducción

$$e = Blv \operatorname{sen} \alpha,$$

siendo e la f.e.m. de inducción, en V;
B la inducción magnética, en T;
l la longitud útil del conductor, en m;
v la velocidad de movimiento del conductor, en m/seg;
α el ángulo (en grados) que forma la dirección del movimiento del conductor con las líneas de fuerza.

La magnitud de la f.e.m. de inducción en el conductor puede también calcularse de acuerdo con la fórmula

$$e = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

siendo $\Delta\Phi$ la variación del flujo magnético, en Wb;
Δt el tiempo durante el que varía el flujo magnético, en seg.

En una bobina que tenga un número w de espiras, la magnitud de la f.e.m. de inducción generada será igual a:

$$e = \frac{w\Phi}{t},$$

siendo Φ el flujo magnético, en Wb;
t el tiempo, en seg.

La inductancia de una bobina se calcula de acuerdo con la fórmula

$$L = \frac{0,4\pi w^2 S}{l} \cdot 10^{-6},$$

siendo L la inductancia de la bobina, en H;
w el número de espiras de la bobina;
S la sección de la bobina, en m^2;
l la longitud de la bobina, en m.

La inductancia de un solenoide puede calcularse de acuerdo con la fórmula

$$L = \frac{\Phi w}{I},$$

siendo Φ el flujo magnético, en Wb;
I la cantidad de espiras del solenoide;
w la intensidad de corriente, en A.

La f.e.m. de autoinducción depende de la inductancia de la bobina y de la rapidez con que varíe la corriente en la misma:

$$e_L = -L\frac{\Delta I}{\Delta t},$$

siendo e_L la f.e.m. de autoinducción, en V;
ΔI la variación de la intensidad de corriente, en A;
Δt la variación del tiempo, en seg.

La f.e.m. de autoinducción depende de la disposición de las bobinas y de la rapidez con que varía la corriente en una de éstas:

$$e_L = -M\frac{\Delta I}{\Delta t},$$

siendo M la inductancia mutua, en H;
ΔI la variación de la intensidad de corriente, en A;
Δt la variación del tiempo, en seg.

La inductancia mutua M depende de la inductancia de las bobinas y del factor de acoplamiento:

$$M = k\sqrt{L_1 L_2},$$

siendo L_1 y L_2 las inductancias de cada bobina, en H;
k el factor de acoplamiento; indica cuál es la parte del flujo magnético de la primera bobina que interseca las espiras de la segunda bobina.

Las bobinas de inducción se pueden conectar entre sí.

En caso que las bobinas de inducción se conecten en s e r i e, la inductancia total será

$$L_{tot} = L_1 + L_2 + \cdots L_n.$$

En el caso de acoplamiento magnético entre bobinas conectadas en serie. la inductancia total será

$$L_{tot} = L_1 + L_2 \pm 2M.$$

La magnitud $+2M$ se introduce, si los flujos magnéticos tienen una misma dirección. La magnitud $-2M$ se introduce cuando los flujos magnéticos tienen sentidos distintos.

Si las bobinas de inducción se encuentran acopladas en p a r a l e l o, la inductancia total se calcula de acuerdo con la fórmula

$$\frac{1}{L_{tot}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \cdots \frac{1}{L_n}.$$

En el caso de dos bobinas de inducción

$$L_{tot} = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}.$$

Problemas

305. Un conductor cuya longitud útil $l=1{,}2$ m, interseca las líneas de fuerza de un campo magnético bajo un ángulo $\alpha=90°$. La inducción magnética $B=25$ T. La velocidad de movimiento del conductor $v=0{,}5$ m/seg. Calcular la f.e.m. de inducción que aparece en el conductor.

306. Una bobina se desplaza en un campo magnético en el que $B=20$ T. La bobina se desplaza con una velocidad de 2 m/seg. Determinar la longitud de su alambre, si se sabe que en éste se induce una f.e.m. igual a 24 V.

307. Una armadura de alambre de 0,5 m de longitud interseca las líneas de fuerza de un campo magnético a una velocidad de 5 m/seg. La inducción magnética del campo $B=50$ T. Determinar la intensidad de corriente que fluye por la armadura, si se sabe que su resistencia es de 40 Ω.

308. Un conductor se desplaza con una velocidad de 6 m/seg perpendicularmente a unas líneas de inducción, como resultado de lo cual en el primero se genera una f. e. m. de inducción $e=1{,}44$ V. La longitud útil del conductor $l=1{,}8$ m. Calcular la inducción magnética del campo.

S o l u c i ó n. $e=Blv$ senα.

Puesto que $\alpha=90^{\circ}$, tenemos que sen $\alpha=1$.

La inducción $B=\dfrac{e}{lv\,\text{sen}\alpha}=\dfrac{1{,}44}{1{,}8\cdot 6\cdot 1}=0{,}133$ T.

309. Una bobina tiene 1500 espiras. Por su sección pasa un flujo magnético que varía con una rapidez de 0,25 Wb cada 5 seg. Determinar la f.e.m. de inducción que se genera en la bobina.

310. Un flujo magnético que varía con una rapidez de 0,24 Wb/seg atraviesa las espiras de una bobina, debido a lo cual en esta última se genera una f.e.m. de inducción igual a 12 V. Determinar la cantidad de espiras de la bobina.

311. ¿Cuál será la magnitud del flujo magnético que en 1 seg interseca una bobina que tiene 2500 espiras, si en ésta se induce una f.e.m. igual a 60 V?

312. ¿Cuál será la inductancia que posee una bobina sin núcleo y de 13 espiras, si el área de su sección transversal es de 0,0002 m^2 y su longitud, de 0,6 m? Calcular la inductancia de esta bobina con núcleo a base de acero de transformador, si su permeabilidad relativa $\mu=7500$.

313. Una bobina de inducción $L=10$ mH. tiene una armazón o carcasa cuya sección transversal es de 0,001 m^2; en la bobina se han arrollado 400 espiras de alambre. Determinar la longitud de la armazón de la bobina.

314. La longitud de una bobina de inducción sin núcleo, de 1000 espiras, es igual a 0,15 m y su inductancia es de 0,05 H. Calcular el área de la sección transversal de esta bobina.

315. Dos bobinas de inducción están acopladas en serie. Calcular su inductancia total, si la inductancia mutua $M=20$ mH y la inductancia de las bobinas es igual a 250 y 90 mH.

316. Dos bobinas de inducción están acopladas en paralelo. La inductancia de una bobina es de 210 μH y la otra, de 100 μH. Determinar su inductancia total.

317. Hallar la inductancia mutua de dos bobinas acopladas en serie, si la inductancia de una bobina es de 25 mH y la de la otra, de 12,5 mH, en tanto que el factor de acoplamiento es igual a 0,8.

318. La inductancia mutua de dos bobinas es igual a 24 mH, la inductancia $L_1=45$ mH y la $L_2=20$ mH. Calcular el factor de acoplamiento.

319. El factor de acoplamiento de dos bobinas es igual a 0,7. Su inductancia mutua $M=26$ mH. Determinar la inductancia de una bobina, si la de la otra es de 40 mH.

320. En una bobina de 4 H de inductancia, la corriente varía uniformemente durante 2,5 seg de 4 a 24 A. ¿Cuál será la magnitud de la f.e.m. de autoinducción que se genera en esta bobina?

321. Dos bobinas de inducción están acopladas en serie. La inductancia de una bobina es de 560 μH, la de la otra, de 820 μH, la inductancia mutua $M=80$ μH. Calcular la inductancia total de las bobinas, si:

1) coincide la dirección de los flujos magnéticos de las bobinas;

2) los flujos magnéticos están dirigidos en sentido contrario.

322. Una bobina de inducción variable consta de dos secciones acopladas en serie: las inductancias de las secciones son $L_1=200$ μH y $L_2=85$ μH, respectivamente. El factor de acoplamiento $k=0,3$. Calcular la inductancia total de la bobina cuando los flujos magnéticos de las secciones están dirigidos en sentido contrario.

323. Calcular la inductancia de un cable de 120 km de longitud. La inductancia de 1 km de cable es de $0,6 \cdot 10^{-3}$ H.

324. En un campo magnético uniforme se mueve perpendicularmente a las líneas de inducción un conductor de 0,08 m de longitud a una velocidad de 4 m/seg. La inducción magnética del campo es 5 T. Determinar la magnitud de la f.e.m. que se induce en el conductor y la resistencia del conductor, si bajo la acción de la f.e.m. generada en este último circula una corriente de 5 A de intensidad.

325. Determinar la inductancia de un solenoide que tiene un devanado de 150 espiras, si la intensidad de corriente en éste es de 0,03 A y el flujo magnético generado por ésta es $\Phi=0,05$ Wb.

326. La inductancia de una bobina que tiene 1000 espiras, es de 5 H. Por sus espiras fluye corriente con una intensidad de 0,6 A. Determinar el flujo magnético generado por la bobina.

327. Una corriente de 0,05 A de intensidad circula por las espiras del devanado de un solenoide que tiene

una inductancia de 0,3 H. Determinar el número de espiras del solenoide cuando el flujo magnético $\Phi = 0{,}0015$ Wb.

328. Determinar la intensidad de corriente en una bobina de inductancia igual a 0,09 H, cuyo número de espiras es de 90 y el flujo magnético, de 0,003 Wb.

XII. CORRIENTE ALTERNA MONOFASICA

Frecuencia, período y magnitud de la f.e.m. alterna

La relación entre la frecuencia de la corriente alterna y el período es la de una proporcionalidad inversa:

$$f = \frac{1}{T},$$

siendo f la frecuencia de la corriente alterna, en Hz;
T el período de la corriente alterna, en seg.

La frecuencia de la corriente alterna depende del número de pares de polos del generador y del de revoluciones del rotor:

$$f = p\frac{n}{60},$$

siendo p el número de pares de polos;
$\frac{n}{60}$ el número de revoluciones por seg *.

Al girar un conductor en un campo magnético constante y uniforme, en él se induce f.e.m. alterna

$$e = Blv \operatorname{sen} \alpha, \text{ V}$$

siendo B la inducción magnética, en T;
l la longitud del condutor, en m;
v la velocidad de rotación del conductor, en m/seg;
α el ángulo, bajo el cual el conductor interseca las líneas de inducción, en grad.

Cuando $\operatorname{sen} \alpha = 1$ $\quad e = E_{max} = Blv.$

El valor instantáneo de la f. e. m. en un momento arbitrario de tiempo se determina por la fórmula

$$e = E_{max} \operatorname{sen} \alpha, \qquad E_{max} = Blv,$$

siendo E_{max} el valor máximo de la f.e.m., en V;
α el ángulo (en grados), bajo el cual el conductor interseca las líneas de inducción en un momento dado.

El ángulo $\alpha = \omega t$. La magnitud ω, llamada pulsatancia o frecuencia angular, es igual a

$$\omega = \frac{2\pi}{T}.$$

* Las rev/s (sistema MKGS) corresponden a 2π rad/s (sistema MKS).

Puesto que $f = \frac{1}{T}$, la pulsatancia de la corriente alterna se puede calcular por la fórmula

$$\omega = 2\pi f \text{ rad/s}.$$

Problemas

329. La frecuencia de la corriente alterna que fluye por un conductor es de 500 Hz. Determinar el período T.

330. La pulsatancia o frecuencia angular ω de una corriente alterna que circula por una bobina de choque (estrangulador) es igual a 314 rad/s. Determinar el período T.

331. El valor eficaz de la intensidad de corriente alterna $I = 105$ A. Determinar el valor máximo (la amplitud) de esta corriente.

332. El valor instantáneo de la intensidad de corriente i que fluye por un circuito eléctrico es de 10 A. Determinar el valor máximo de la intensidad de esta corriente I_{max}, si la fase $\omega t = 30°$ *.

333. El valor máximo de la f.e.m. de un generador es igual a 120 V. Determinar su valor instantáneo, si la fase $\omega t = 60°$.

334. La amplitud de una corriente alterna $I_{max} = 20$ mA, la frecuencia $f = 1000$ Hz. Determinar el valor instantáneo de la intensidad de corriente pasado 0,0001 s de su valor cero.

Solución. $i = I_{max} \operatorname{sen} \omega t = I_{max} \operatorname{sen} 2\pi f t$,

$$i = 20 \operatorname{sen} (2\pi \cdot 1\,000 \cdot 0{,}0001).$$

Si sustituimos π por su valor en grados, obtenemos:

$$i = 20 \operatorname{sen} (2 \cdot 180 \cdot 1\,000 \cdot 0{,}0001) = 20 \cdot \operatorname{sen} 36°,$$

$$i = 20 \cdot 0{,}587 = 11{,}7 \text{mA}.$$

335. La corriente alterna en un circuito tiene una frecuencia de 2 000 000 Hz. Determinar el tiempo con posterioridad al paso de la intensidad de corriente eléctrica por cero en que ésta será igual a 25 mA, si se sabe que la amplitud de la corriente $I_{max} = 100$ mA.

* 1° corresponde a 0,01745329 rad (sistema SI).

Solución. $i = I_{max} \operatorname{sen} 2\pi ft$;

$25 = 100 \cdot \operatorname{sen}(2\pi ft) = 100 \operatorname{sen}(2\pi \cdot 2 \cdot 10^6 t) =$

$= 100 \operatorname{sen}(12{,}56 \cdot 10^6 t)$;

$$\operatorname{sen}(12{,}56 \cdot 10^6 t) = \frac{25}{100} = 0{,}25.$$

De acuerdo con el apéndice 1 esta magnitud corresponde al ángulo 14,5°, es decir $(12{,}56 \cdot 10^6 t) = 14{,}5°$.

$$t = \frac{14{,}5}{12{,}56 \cdot 10^6 t} = 1{,}15 \cdot 10^{-6}\ seg.$$

336. El rotor de un generador de corriente alterna tiene un par de polos. Calcular la frecuencia de la f.e.m. inducida cuando el rotor gira a una velocidad de 50 r.p.s.

337. El rotor de un generador de corriente alterna gira a una velocidad $n=1500$ r.p.m. Determinar la cantidad de pares de polos del rotor en el caso en que la frecuencia f de la f.e.m. inducida sea igual a 100 Hz.

338. Determinar el número de revoluciones del rotor de un generador de corriente alterna, si su cantidad de pares de polos $p=6$ y la frecuencia de la f.e.m. inducida $f=50$ Hz.

339. Los períodos de variación de una corriente alterna son $T_1=\frac{1}{50}$ seg y $T_2=\frac{1}{800}$ seg. Determinar las frecuencias f_1 y f_2.

340. Calcular la pulsatancia de la corriente alterna cuando el período $T=\frac{1}{100}$ seg.

341. Las frecuencias de una corriente alterna son $f_1=400$ Hz y $f_2=50$ Hz. Calcular la pulsatancia w_1 y w_2.

342. La pulsatancia de una corriente alterna $w_1=3\,140$ rad/s y $w_2=1\,256$ rad/s. Determinar la frecuencia de la corriente f_1 y f_2.

Valor eficaz. Resistencia pura en un circuito de corriente alterna

El valor eficaz de una corriente alterna sinusoidal es $\sqrt{2}$ veces menor que el máximo, es decir, es 1,41 veces menor:

$$I = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{I_{max}}{1{,}41} = I_{max} \cdot 0{,}707,$$

siendo I el valor eficaz de la intensidad de corriente, en A;

I_{max} el valor máximo de la intensidad de corriente, en A.

El valor eficaz de la f.e.m. alterna y de la tensión se calculan haciendo uso de las fórmulas:

$$E = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{E_{max}}{1,41} = E_{max} \cdot 0,707,$$

$$U = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{U_{max}}{1,41} = U_{max} \cdot 0,707,$$

siendo U el valor eficaz de la tensión alterna, en V;
E el valor eficaz de la f.e.m. alterna, en V;
U_{max} el valor máximo de la tensión, en V;
E_{max} el valor máximo de la f.e.m., en V.

Si a las bornas de un circuito de corriente alterna con resistencia pura se suministra una tensión que varía según una ley sinusoidal, tendremos que la magnitud de esta tensión en un instante arbitrario de tiempo se determina en términos de la fórmula

$$u = U_{max} \operatorname{sen} \alpha = U_{max} \operatorname{sen} \omega t.$$

Conforme a la ley de Ohm, la intensidad de corriente en este instante de tiempo será igual a:

$$i = \frac{u}{r}.$$

Si con base en la fórmula anterior sustituimos u por su valor, obtenemos:

$$i = \frac{U_{max}}{r} \operatorname{sen} \omega t.$$

El valor máximo de la intensidad de corriente

$$I_{max} = \frac{U_{max}}{r},$$

de donde

$$i = I_{max} \operatorname{sen} \omega t.$$

En el instante inicial, cuando $t = 0$, la fase $\omega t = 0$ y $\operatorname{sen} \omega t = 0$. Por consiguiente:

$$u = U_{max} \operatorname{sen} \omega t = 0; \qquad i = I_{max} \operatorname{sen} \omega t = 0.$$

La potencia absorbida por la resistencia pura (potencia activa) se determina por las fórmulas:

$$P = IU; \quad P = I^2 r; \quad P = \frac{U^2}{r}.$$

Problemas

343. El valor máximo de una tensión es 282 V. Determinar el valor eficaz de la tensión.

344. A un electrólito, cuya resistencia $r=30\ \Omega$ se aplica una tensión con una amplitud $U_{max}=170$ V. Determinar el valor eficaz de la intensidad de corriente.

345. El valor instantáneo de la intensidad de corriente alterna i que fluye por el filamento de una lámpara eléctrica es de 2 A. La fase ωt es igual a 15° y la resistencia del filamento $r=20\ \Omega$. Determinar el valor máximo de la tensión U_{max} en los extremos del filamento.

346. Un voltímetro conectado a un circuito de corriente alterna indica una tensión de 127 V. Calcular el valor máximo de la tensión.

347. El valor máximo de una corriente alterna que fluye por un circuito con resistencia pura $r=40\ \Omega$ es de 14,1 A. Determinar la potencia absorbida por esta resistencia.

348. Una resistencia pura $r=25\ \Omega$ está intercalada en un circuito de corriente alterna. El valor máximo de la tensión es de 70,5 V. Calcular la potencia absorbida.

349. Por una resistencia pura, cuya potencia es de 60 W, fluye corriente igual a 6 A. Determinar la tensión en las bornas de la resistencia.

Inductancia en un circuito de corriente alterna

La resistencia inductiva es

$$X_L = \omega L,$$

siendo X_L la resistencia inductiva, en Ω;
ω la pulsatancia, en rad/seg;
L la inductancia de la bobina, en H.

Puesto que $\omega=2\pi f$, la resistencia inductiva de la bobina

$$X_L = 2\pi f L.$$

La intensidad de corriente alterna que fluye en un circuito con inductancia es igual a:

$$I = \frac{U}{X_L}; \qquad I = \frac{U}{\omega L}; \qquad I = \frac{U}{2\pi f L}$$

El valor eficaz de la tensión en las bornas de la bobina de inductancia, se determina de acuerdo con las fórmulas

$$U = IX_L; \qquad U = I\omega L; \qquad U = I \cdot 2\pi f L.$$

Resistencia pura e inductiva en un circuito de corriente alterna

La tensión en una resistencia activa es

$$U_a = Ir.$$

La tensión en la resistencia inductiva es

$$U_L = IX_L.$$

La tensión total en las bornas de un circuito es

$$U = \sqrt{U_a^2 + U_L^2},$$

siendo I la intensidad de corriente, en A;
r la resistencia pura, en Ω;
X_L la resistencia inductiva, en Ω;
U_a la tensión en la resistencia pura, en V;
U_L la tensión en la resistencia inductiva, en V;
U la tensión total en las bornas del circuito, en V.

La resistencia total del circuito es

$$Z = \sqrt{r^2 + X_L^2}.$$

La intensidad de corriente alterna que fluye por el circuito es

$$I = \frac{U}{Z} \text{ ó } I = \frac{\sqrt{U_a^2 + U_L^2}}{\sqrt{r^2 + X_L^2}}.$$

El coseno del ángulo de desfasamiento es

$$\cos \varphi = \frac{r}{Z};$$

siendo φ el ángulo de desfasamiento, en grad;
r la resistencia pura, en Ω;
Z la resistencia total, en Ω.

La magnitud $\cos \varphi$ se puede también calcular haciendo uso de la fórmula

$$\cos \varphi = \frac{U_a}{U} = \frac{U_a}{\sqrt{U_a^2 + U_L^2}},$$

siendo U_a la tensión en la resistencia pura, en V;
U la tensión total en las bornas del circuito, en V;
U_L la tensión en la resistencia inductiva, en V.

Problemas

350. Por una bobina, cuya inductancia $L=0{,}3$ H, fluye corriente de $f=3\,000$ Hz. Determinar la resistencia inductiva X_L. Despreciar la resistencia pura.

351. ¿Cuál será la frecuencia f de la corriente alterna que fluye por las espiras de una bobina de inductancia $L=0{,}15$ H, si su resistencia inductiva $X_L=942$ Ω? Despreciar la resistencia pura.

352. Determinar la inductancia de una bobina de resistencia pura muy pequeña, si su resistencia inductiva $X_L = 125{,}6\ \Omega$ y la frecuencia de la corriente alterna $f = 10\,000$ Hz.

353. La resistencia pura de una bobina $r = 314\ \Omega$. Calcular la inductancia de esta bobina, si por ésta circula una corriente de frecuencia $f = 50$ Hz y el desfasaje (ángulo φ) entre la corriente y la tensión es igual a 45°.

354. Por una bobina de una inductancia de 0,007 H circula corriente alterna, el valor máximo de la intensidad de corriente $I_{max} = 14{,}1$ A. Determinar la tensión efectiva U en los extremos de la bobina, si la frecuencia de la corriente que fluye es de 50 Hz. Despreciar la resistencia pura.

355. Por una bobina pasa corriente alterna con frecuencia de 1 000 Hz. Calcular la impedancia de la bobina Z, si su resistencia pura es igual a 50 Ω y la inductancia, 0,08 H. Construir el triángulo de resistencias y determinar el cos φ y el ángulo φ.

356. Por un devanado pasa corriente alterna, cuyo valor eficaz $I = 10$ A. Determinar la impedancia Z, si la tensión aplicada $U = 120$ V. Calcular la resistencia pura r y la inductiva X_L, si el ángulo de desfasamiento entre la corriente y la tensión es igual a 40°.

357. La resistencia pura de una bobina $r = 3\ \Omega$ y la inductiva $X_L = 9{,}42\ \Omega$. Determinar la intensidad de corriente que pasa por la bobina, si ésta se halla bajo una tensión de 40 V.

358. Una bobina posee una resistencia pura $r = 20\ \Omega$ y una inductancia $L = 0{,}06$ H. Determinar la impedancia Z; la tensión U y el coseno del ángulo de desfasamiento (cos φ), si la intensidad de corriente en la bobina es 0,6 A, siendo la frecuencia $f = 50$ Hz.

359. Una bobina de inducción está conectada a una fuente de corriente alterna de 50 Hz de frecuencia y con una tensión de 48 V. Determinar la inductancia de la bobina, si su resistencia pura es de 3 Ω y la intensidad de corriente en la misma es 6 A.

360. La intensidad de corriente en el devanado de un electroimán es igual a 5 A, la resistencia pura del devanado $r = 16\ \Omega$ y la resistencia inductiva $X_L = 12\ \Omega$. Determinar la lectura del voltímetro en las bornas del devanado.

361. La intensidad de corriente alterna en una bobina es de 5 A, su resistencia pura es 2,3 Ω y la inductancia es 0,03 H. ¿Cuál será la frecuencia de la corriente alterna, si la tensión, aplicada a la bobina, es de 55 V?

362. Por una bobina, cuya resistencia pura $r=10\ \Omega$, pasa una corriente alterna de 3 A de intensidad. Determinar las caídas de la r pura y de la X_L inductiva de las tensiones, si la tensión U en los extremos de la bobina es de 50 V.

363. Dos bobinas están acopladas en serie. Las resistencias pura e inductiva de la primera bobina son $r_1=6\ \Omega$, $X_{L_1}=10\ \Omega$ y las de la segunda son $r_2=10\ \Omega$, $X_{L2}=12\ \Omega$. Determinar la intensidad de corriente que pasa por el circuito, si la tensión aplicada a las bobinas es de 120 V.

364. Una bobina que dispone de una resistencia pura $r=10\ \Omega$ y de una resistencia inductiva $X_L=15{,}7\ \Omega$ está conectada a una fuente de corriente alterna de 50 Hz de frecuencia. La intensidad de corriente en la bobina es de 6 A. Determinar la impedancia Z; la tensión U en las bornas de la bobina; la caída inductiva de la tensión U_L; la inductancia L de la bobina y el coseno del ángulo de desfasamiento entre la corriente y la tensión (cos φ).

365. Por dos receptores de energía eléctrica acoplados en serie pasa corriente alterna de 100 A de intensidad y 50 Hz de frecuencia. La resistencia pura del primer receptor $r_1=5\ \Omega$ y la inductancia $L_1=0{,}0107$ H; la resistencia pura del segundo receptor $r_2=20\ \Omega$ y la inductancia $L_2=0{,}5$ H. Calcular la impedancia Z_1 y Z_2 de cada receptor y la impedancia Z de ambos receptores; las tensiones U_1 y U_2 en los extremos de los receptores y la tensión U aplicada a ambos receptores. Construir los triángulos de resistencias.

366. La resistencia inductiva X_L de una bobina, por la que pasa corriente alterna, es 30 veces mayor que la pura r. La inductancia de la bobina $L=0{,}02$ H y la frecuencia de la corriente alterna $f=1\ 000$ Hz. Determinar las resistencias pura r e inductiva X_L y la impedancia Z.

367. Al conectar una bobina de inducción con núcleo de acero a una red de 120 V de tensión, la intensidad de corriente en el devanado es igual a 0,5 A. Después de extraer el núcleo, la intensidad de corriente en el devanado crece

hasta 8 A. La frecuencia de la corriente alterna $f=100$ Hz, la resistencia pura $r=4\ \Omega$. Determinar la inductancia L_1 de la bobina con núcleo y la L_2 de la bobina sin núcleo, tomando en consideración que las pérdidas en el núcleo son iguales a cero.

Solución. Para hallar L_1 previamente se determinan Z_1 y X_{L_1};

$$Z_1 = \frac{U}{I_1} = \frac{120}{0,5} = 240\Omega;$$

$$X_{L_1} = \sqrt{Z_1^2 - r^2} = \sqrt{57600 - 16} = 240\Omega;$$

$$L_1 = \frac{X_{L_1}}{2\pi f} = \frac{240}{6,28 \cdot 100} = 0,382H = 382\ \text{mH}.$$

Para hallar L_2 se determinan previamente Z_2 y X_{L_2}:

$$Z_2 = \frac{U}{I_2} = \frac{120}{8} = 15\Omega;$$

$$X_{L_2} = \sqrt{Z_2^2 - r^2} = \sqrt{225 - 16} = 14,4\Omega;$$

$$L_2 = \frac{X_{L_2}}{2\pi f} = \frac{14,4}{6,28 \cdot 100} = 0,023\text{H} = 23\text{mH}.$$

368. ¿Cuál será la frecuencia a la que una bobina, que posee una inductancia de 2 H y una resistencia pura de 200 Ω, tendrá una impedancia de 2 500 Ω?

369. Dos bobinas de inducción acopladas en serie se conectan a un circuito de corriente alterna de 50 Hz de frecuencia. La resistencia pura de la primera bobina es de 5 Ω y la inductancia, de 0,0107 H; la resistencia pura de la segunda bobina es de 20 Ω y la inductancia, de 0,5 H. Determinar la impedancia de la primera y segunda bobinas y la impedancia de ambas bobinas.

370. Una bobina tiene una resistencia pura de 9 Ω y una inductancia de 200 μH. Determinar su resistencia inductiva cuando la frecuencia de la corriente que circula es de 0,8 MHz y determinar también la razón de la resistencia inductiva a la pura (factor Q).

371. A través de una bobina de choque que posee inductancia de 20 H y una resistencia pura de 600 Ω pasa corriente de 200 Hz. Determinar la resistencia inductiva y la impedancia de la bobina de choque y el coseno del ángulo de desfasamiento entre la corriente y la tensión.

372. Una bobina de inducción, cuya resistencia pura es de 50 000 Ω está acoplada en serie en un circuito de corriente alterna de 5 000 Hz. Determinar la relación entre la tensión inductiva y la activa, si la inductancia de la bobina es de 20 H.

273. Una bobina, cuya inductancia es de 2,55 mH y de resistencia pura 6 Ω, está conectada a una red de corriente alterna con tensión de 12 V, siendo la frecuencia de 500 Hz. Determinar la resistencia inductiva y la impedancia de la bobina; la intensidad de corriente que fluye por ésta; las caídas de tensiones activa e inductiva, asimismo el cos φ.

374. Una bobina de 0,06 H de inductancia está conectada a una red de 120 V de tensión. Calcular la resistencia inductiva y la intensidad de corriente en el circuito, siendo las frecuencias de 50 Hz y 1 000 Hz.

Capacidad en un circuito de corriente alterna

Un condensador conectado a las bornas de una fuente de corriente alterna de tensión sinusoidal $u=U_{max}$ sen ωt, se carga y se descarga poriódicamente.

La reactancia capacitiva del condensador es

$$X_C = \frac{1}{\omega C},$$

siendo X_C la reactancia capacitiva, en Ω;
ω la pulsatancia, en rad/seg;
C la capacidad, en F.

Puesto que la pulsatancia $\omega=2\pi f$, la reactancia capacitiva será

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C},$$

siendo f la frecuencia de corriente alterna, en Hz;
C la capacidad, en F.

Si la capacidad C se mide en μF, la reactancia capacitiva es $X_C=\frac{10^6}{2\pi f C}$. Si la capacidad C se mide en pF, entonces $X_C=\frac{10^{12}}{2\pi f C}$.

La amplitud de la tensión en las armaduras de un condensador es

$$U_{max} = I_{max} X_C \text{ ó } U_{max} = I_{max} \frac{1}{\omega C},$$

siendo U_{max} la tensión màxima, en V;
I_{max} la intensidad máxima de corrriente, en A;
X_C la reactancia capacitiva, en Ω;
ω la pulsatancia, en rad/seg;
C la capacidad, en F.

El valor eficaz de la corriente es

$$I = \frac{U}{X_C} \text{ ó } I = \frac{U}{\frac{1}{\omega C}} = U\omega C.$$

El valor eficaz de la tensión es

$$U_C = IX_C \text{ ó } U_C = I\frac{1}{\omega C},$$

siendo I la intensidad de corriente, en A;
X_C la reactancia capacitiva, en Ω;
ω la pulsatancia, en rad/seg;
C la capacidad, en F.

Circuito de corriente alterna con resistencia pura y reactancia capacitiva acopladas en serie

La caída de la tensión en la resistencia pura del circuito es

$$U_a = Ir.$$

La caída de la tensión en la reactancia capacitiva del circuito es

$$U_C = IX_C.$$

La tensión total en las bornas de todo el circuito es

$$U = \sqrt{U_a^2 + U_C^2},$$

siendo U_a la caída de la tensión en la resistencia pura, en V;
U_C la caída de la tensión en la reactancia capacitiva, en V;
U la tensión total en las bornas de todo el circuito, en V;
I la intensidad de corriente, en A;
r la resistencia pura, en Ω;
X_C la reactancia capacitiva, en Ω.

La impedancia del circuito es

$$Z = \sqrt{r^2 + X_C^2}.$$

La intensidad de corriente alterna que fluye por el circuito es

$$I = \frac{U}{Z} \text{ ó } I = \frac{\sqrt{U_a^2 + U_C^2}}{\sqrt{r^2 + X_C^2}}.$$

siendo U la tensión total en las bornas del circuito, en V;
Z la impedancia del circuito, en Ω.

El coseno del ángulo de desfasamiento es

$$\cos\varphi = \frac{r}{Z} \text{ ó } \cos\varphi = \frac{r}{\sqrt{r^2 + X_C^2}}.$$

La magnitud $\cos\varphi$ se puede también calcular por las fórmulas:

$$\cos\varphi = \frac{U_a}{U} \text{ ó } \cos\varphi = \frac{U_a}{\sqrt{U_a^2 + U_C^2}}.$$

Circuito de corriente alterna en el que las resistencias pura, inductiva y la reactancia capacitiva están acopladas en serie

La caída de la tensión en la resistencia pura es

$$U_a = Ir.$$

La caída de la tensión en la resistencia inductiva es

$$U_L = IX_L.$$

La caída de la tensión en la reactancia capacitiva es

$$U_C = IX_C.$$

La tensión total en las bornas del circuito es

$$U = \sqrt{U_a^2 + (U_L - U_C)^2},$$

siendo I la intensidad de corriente en el circuito, en A;
r la resistencia pura, en Ω;
X_L la resistencia inductiva, en Ω;
X_C la reactancia capacitiva, en Ω;
U_a la caída de la tensión en la resistencia pura, en V;
U_L la caída de la tensión en la resistencia inductiva, en V;
U_C la caída de la tensión en la reactancia capacitiva, en V;
U la tensión total en las bornas del circuito, en V.

La impedancia del circuito es

$$Z = \sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2}.$$

La intensidad de corriente en el circuito se determina de acuerdo con la ley de Ohm:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{\sqrt{U_a^2 + (U_L - U_C)^2}}{\sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2}}.$$

El coseno del ángulo de desfasamiento es

$$\cos\varphi = \frac{r}{Z}.$$

Cuando las tensiones se encuentran en resonancia

$$X_L = X_C \text{ ó } \omega L = \frac{1}{\omega C}.$$

La pulsatancia de la corriente alterna ($\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$) se llama frecuencia resonante. En el presente caso la intensidad de corriente en el circuito $I = \frac{U}{r}$ y $\cos\varphi = 1$.

375. Determinar la capacidad de un condensador por el que circula una corriente de 50 Hz de frecuencia. La reactancia capacitiva $X_C = 1\,952\ \Omega$.

376. Por un condensador de 104 μF de capacidad pasa corriente alterna de 500 Hz de frecuencia. Determinar la reactancia capacitiva.

377. Por dos bobinas de inducción acopladas en serie circula una corriente alterna de 100 A de intensidad. La impedancia de la primera bobina es de 6 Ω y la de la segunda, de 158 Ω. Determinar las tensiones U_1 y U_2 en los extremos de las bobinas primera y segunda y la tensión U aplicada a ambas bobinas (graficamente), si la tensión U_2 se retrasa en fase con respecto a la tensión U_1 en un ángulo $\varphi = 15°$.

378. Un condensador tiene una capacidad de 20 μF. Determinar su reactancia capacitiva, si la frecuencia de la componente alterna de la corriente es de 100 Hz.

379. Calcular la reactancia capacitiva de un condensador a las frecuencias de 1,8 MHz y de 3,4 kHz; se sabe que la capacidad del condensador es de 0,002 μF.

380. Determinar la capacidad de un condensador a una frecuencia de 50 Hz; se sabe que su reactancia capacitiva es de 230 Ω.

381. Determinar la reactancia capacitiva de un condensador a las frecuencias de 50 Hz, 100 kHz y 600 kHz. La capacidad del condensador es de 0,25 μF.

382. Un condensador de 2 μF de capacidad está conectado en serie con una resistencia pura de 70 Ω a un circuito de corriente alterna. Determinar la impedancia del circuito cuando la frecuencia es de 1 000 Hz.

383. Un condensador de 10 μF de capacidad está acoplado en serie con una resistencia pura de 800 Ω, bajo una tensión de 120 V y a una frecuencia de 50 Hz. Determinar:

la impedancia del circuito;
la intensidad de corriente en el circuito;
el ángulo de desfasamiento entre la corriente y la tensión;
la caída de tensión en la resistencia pura;
la caída de tensión en la reactancia capacitiva.
Construir el triángulo de tensiones.

S o l u c i ó n. Previamente determinamos la pulsatancia ω y la reactancia capacitiva X_C:

$$\omega = 2\pi f = 6{,}28 \cdot 50 = 314 \ rad/seg.$$

$$X_C = \frac{1}{314 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = \frac{1\,000\,000}{314 \cdot 10} = 318\Omega.$$

La impedancia es

$$Z = \sqrt{r^2 + X_C^2} = \sqrt{800^2 + 318^2} = 860\Omega.$$

La intensidad de corriente en el circuito es

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{120}{860} = 0{,}14\text{A}.$$

El coseno del ángulo de desfasamiento entre la corriente y la tensión es

$$\cos \varphi = \frac{r}{Z} = \frac{800}{860} = 0{,}93; \text{ el ángulo } \varphi = 22^\circ.$$

La caída de tensión en la resistencia activa es

$$U_a = Ir = 0{,}14 \cdot 800 = 112\text{V}.$$

La caída de tensión en la reactancia capacitiva es

$$U_C = IX_C = 0{,}14 \cdot 318 = 44{,}5\text{V}.$$

384. Una bobina de choque de resistencia pura de 10 Ω y de inductancia 0,05 H está acoplada en serie con un condensador de 2 μF de capacidad a una tensión de 100 V y una frecuencia de la corriente de 500 Hz. Determinar la reactancia capacitiva y la resistencia inductiva; la impedancia del circuito y la intensidad de corriente en este circuito. Construir el triángulo de resistencias y hallar el ángulo de desfasamiento entre la corriente y la tensión.

385. Una bobina de choque, cuya resistencia pura es de 12 Ω y su inductancia, de 0,1 H está conectada a una tensión de 100 V y una frecuencia de la corriente de 50 Hz. Determinar:

a) la resistencia inductiva X_L;

b) la impedancia del circuito Z;

c) la intensidad de corriente en el circuito;

d) la capacidad del condensador C último que es necesario conectar en serie con el circuito de la bobina de choque para que las tensiones se encuentren en resonancia;

e) la intensidad de corriente I en el circuito cuando las tensiones se encuentran en resonancia;

f) la tensión U_b en las bornas de la bobina en caso que las tensiones se encuentran en resonancia;

g) la tensión en las armaduras o placas del condensador U_C.

386. Un circuito consta de una inductancia y una capacitancia acopladas en serie. Determinar la capacitancia cuando las tensiones se encuentran en resonancia para el caso de una corriente alterna de 500 kHz, si la inductancia del circuito es de 0,725 mH.

387. Si una bobina de inducción está conectada a una red de corriente alterna de 120 V de tensión, tendremos que la intensidad de corriente en ésta es de 0,5 A; si esta misma bobina está conectada a una red de corriente continua de la misma tensión, tendremos que la intensidad de corriente será de 4 A. Determinar la impedancia, la inductancia y la resistencia pura de la bobina.

388. ¿Cuál será la frecuencia de la corriente alterna a la que un circuito (de resistencia pura de 4 Ω y de inductancia de 0,5 H) poseerá una impedancia $Z=150$ Ω?

389. Un condensador y una resistencia pura acoplados en serie están conectados a una fuente de corriente alterna de 220 V de tensión y 10 000 Hz de frecuencia. Determinar la capacidad del condensador, si la resistencia pura es de 264 Ω y la intensidad de corriente, de 0,05 A.

390. Un condensador y una bobina de inducción están acoplados en serie. La reactancia capacitiva del condensador $X_C=5\,000$ Ω. Determinar la inductancia de la bobina, si, cuando la frecuencia de la corriente alterna sea de 20 000 Hz, las tensiones en el circuito se encuentran en resonancia.

Solución. Cuando las tensiones se encuentran en resonancia $X_C=X_L$, por consiguiente, $X_L=5\,000$ Ω.

$$X_L = 2\pi f L,$$

de donde

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{5\,000}{6{,}28 \cdot 20\,000} = 0{,}0398\text{H}.$$

391. Una bobina de inducción de 50 mH está acoplada en serie con un condensador de 20 μF de capacidad. ¿Qué frecuencia de corriente alterna conviene hacer

pasar por el circuito para que en éste se encuentren las tensiones en resonancia?

Solución. Cuando las tensiones se encuentran en resonancia $X_L = X_C$, es decir,

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC},$$

de donde

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{50}{1\,000}\cdot\frac{20}{1\,000\,000}}} = \frac{100\,000}{2\pi\cdot 100} =$$

$$= \frac{1\,000}{6{,}28} = 160\text{Hz}.$$

Observación. Si queremos expresar las frecuencias en Hz hemos de tener la inductancia en H y la capacidad en F.

392. Un condensador de 10 μF de capacidad está acoplado en serie con una bobina de choque que posee una inductancia de 100 mH. Determinar la impedancia del circuito cuando la frecuencia de la corriente es de 50 Hz, si se sabe que la resistencia pura de la bobina es de 100 Ω.

393. Una corriente de 1 000 Hz de frecuencia circula por un circuito que consta de bobinas de inducción acopladas en serie y de un condensador de capacidad variable. Determinar la capacidad del condensador que corresponde a la corriente máxima en el circuito. La inductancia de la bobina es de 0,01 H.

394. ¿Cuál será la frecuencia de una corriente alterna que debe pasar por un circuito eléctrico formado por un condensador y una bobina de inducción acoplados en serie, si la capacidad del condensador es de 160 pF, la inductancia de la bobina, de 4 mH y las tensiones en el circuito se encuentran en resonancia?

395. A un circuito eléctrico con una resistencia pura $r = 50\ \Omega$, inductancia $L = 3{,}98$ mH y capacidad de $C = 159{,}2$ pF va conectado un generador. La tensión del generador es de 25 V y la frecuencia de la corriente es de 200 kHz. Determinar la resistencia inductiva y la reactancia capacitiva; la intensidad de corriente en el circuito; la caída de tensión inductiva y capacitiva y la potencia reactiva en la bobina. Construir el diagrama vectorial.

396. Un condensador de 77 μF de capacidad va conectado a una red de 120 V de tensión y de 50 Hz de frecuencia. Determinar la reactancia capacitiva y la intensidad de corriente en el circuito.

Acoplamiento (conexion) en paralelo de resistencias. Resonancia de corrientes

En caso que las resistencias se hallan acopladas en paralelo (fig. 37), las impedancias de las ramas son correspondientemente iguales a

$$Z_1 = \sqrt{r_1^2 + (\omega L_1)^2}\,; \qquad Z_2 = \sqrt{r_2^2 + (\omega L_2)^2}\,.$$

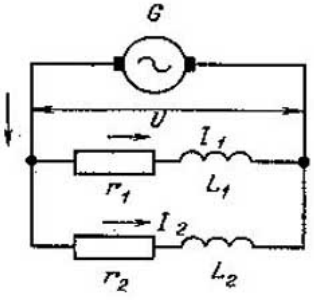


Fig. 37

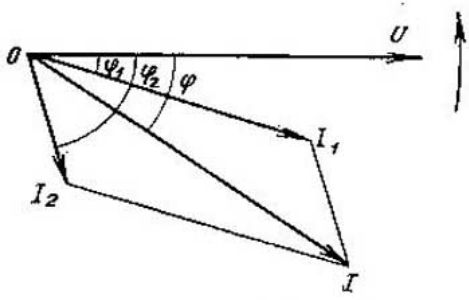


Fig. 38

La intensidad de las corrientes I_1 y I_2 se determina por la ley de Ohm:

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{U}{\sqrt{r_1^2 + (\omega L_1)^2}}\,; \qquad I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{U}{\sqrt{r_2^2 + (\omega L_2)^2}}\,.$$

En presencia de una reactancia inductiva, las corrientes que circulan por estas ramas se retrasan en fase con respecto a la tensión en los ángulos φ_1 y φ_2:

$$\cos\varphi_1 = \frac{r_1}{Z_1} = \frac{r_1}{\sqrt{r_1^2 + (\omega L_1)^2}}\,; \qquad \cos\varphi_2 = \frac{r_2}{Z_2} = \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + (\omega L_2)^2}}\,.$$

Del diagrama vectorial (fig. 38) se ve que la intensidad de corriente I en la parte no ramificada del circuito se define como la suma geométrica de las corrientes I_1 y I_2. La intensidad de corriente I el ángulo de desfasamiento φ entre la corriente I y la tensión se

pueden calcular, descomponiendo las corrientes I_1 y I_2 en componentes activas y reactivas (fig. 39):

$$I_{a_1} = I_1 \cos \varphi_1; \qquad I_{r_1} = I_1 \cos \varphi_1;$$

$$I_{a_2} = I_2 \cos \varphi_2; \qquad I_{r_2} = I_2 \operatorname{sen} \varphi_2;$$

$$I = \sqrt{(I_{a_1} + I_{a_2})^2 + (I_{r_1} + I_{r_2})^2} = \sqrt{I_a^2 + I_r^2};$$

$$\cos \varphi = \frac{I_a}{I}.$$

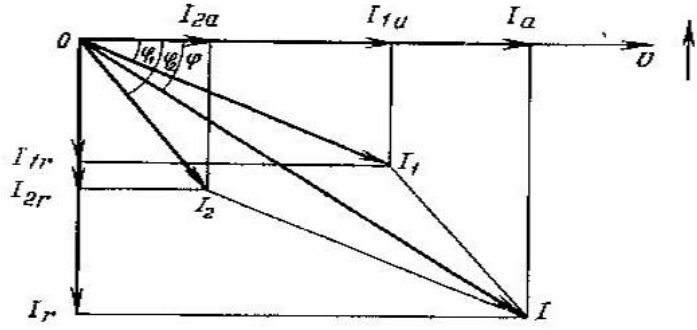


Fig. 39

Si la capacitancia y la inductancia van acopladas en paralelo (fig. 40, 41) con una resistencia bastante pequeña que puede despreciarse, la intensidad de corriente en la capacitancia es

$$I_C = \frac{U}{\frac{1}{\omega C}} = U \omega C,$$

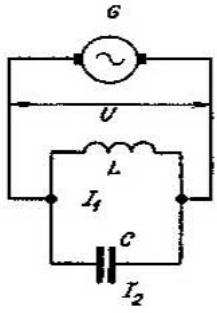


Fig. 40

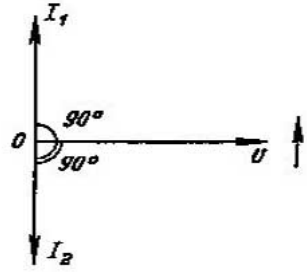


Fig. 41

siendo I_C la intensidad de corriente en la reactancia capacitiva, en A;
U la tensión en las bornas del circuito, en V;
ω la pulsatancia de la corriente, en rad/seg;
C la capacidad, en F.

La intensidad de corriente en la inductancia es

$$I_L = \frac{U}{\omega L},$$

siendo I_L la intensidad de corriente en la resistencia inductiva, en A;
L la inductancia, en H.

Si las corrientes se encuentran en resonancia

$$I_L = I_C, \text{ es decir, } \frac{U}{\omega L} = U\omega C.$$

De esta igualdad se deduce que la frecuencia angular resonante de la corriente es

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}},$$

siendo ω la frecuencia angular de la corriente, en rad/seg;
L la inductancia, en H;
C la capacidad, en F.

La frecuencia resonante también se puede calcular de acuerdo con la fórmula

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ Hz}.$$

En caso de resonancia el período de las oscilaciones eléctricas en el circuito es

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \text{ seg}.$$

La atenuación del circuito es igual a la razón $\frac{r}{X_L}$,
siendo r la resistencia pura del circuito, en Ω;
X_L la resistencia inductiva del circuito, en Ω.

El factor de calidad (factor Q) del circuito es una magnitud inversa a la atenuación

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{X_L}{r}.$$

Si r se refiere a la bobina de inducción tendremos que $\operatorname{tg}\varphi$ será el factor de calidad de la bobina y no del circuito.

Potencia de una corriente alterna monofásica

La potencia activa de la corriente alterna monofásica es

$$P = IU\cos\varphi,$$

siendo P la potencia activa, en W;
I la intensidad de corriente, en A;
U la tensión, en V;
cos φ el coseno del ángulo de desfasamiento entre la corriente y la tensión (factor de potencia).

La potencia reactiva de una corriente alterna monofásica es

$$Q = IU \operatorname{sen} \varphi,$$

siendo Q la potencia reactiva, en VAr;
I la intensidad de corriente, en A;
U la tensión, V;
sen φ el seno del ángulo de desfasamiento entre la corriente y la tensión.

La potencia total de una corriente alterna monofásica es

$$S = UI \text{ ó } S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

siendo S la potencia total, en VA;
I la intensidad de corriente en el circuito, en A;
U la tensión en las bornas del circuito, en V.

El factor de potencia $\cos \varphi = \frac{P}{S}$, mientras que $\operatorname{sen} \varphi = \frac{Q}{S}$.

Problemas

397. Dos bobina están acopladas en paralelo y a su vez van conectadas a una fuente de corriente alterna. La resistencia inductiva de la primera bobina $X_{L_1} = 50\ \Omega$, la de la segunda, $X_{L_2} = 10\ \Omega$ y las resistencias puras son $r_1 = 20\ \Omega$ y $r_2 = 45\ \Omega$, correspondientemente. La intensidad de la corriente I_1 que fluye por la primera bobina es igual a 2 A. Determinar:

a) la impedancia Z_1 de la primera bobina;
b) la impedancia Z_2 de la segunda bobina;
c) la tensión U aplicada a las bobinas;
d) la intensidad de corriente I_2 en la segunda bobina;
e) el ángulo de desfasamiento entre las corrientes I_1 y I_2;
f) la intensidad de la corriente total I;
g) el ángulo de desfasamiento φ entre la tensión U y la corriente I.

Solución.

a) $Z_1 = \sqrt{r_1^2 + X_{L_1}^2} = \sqrt{20^2 + 50^2} = 53{,}8\Omega$;

b) $Z_2 = \sqrt{r_2^2 + X_{L_2}^2} = \sqrt{45^2 + 10^2} = 46\Omega$;

c) $U = I_1 Z_1 = 2 \cdot 53{,}8 = 107{,}6\text{V}$;

d) $U = I_2 Z_2$,

de donde

$$I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{107,6}{46} = 2,3\text{A};$$

e) para determinar el ángulo de desfasamiento entre las corrientes I_1 e I_2 es necesario hallar previamente los ángulos de desfasamiento entre las corrientes I_1 e I_2 y la tensión U:

$$\cos \varphi_1 = \frac{r_1}{Z_1} = \frac{20}{53,8} = 0,371, \quad \varphi_1 = 68°;$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{r_2}{Z_2} = \frac{45}{46} = 0,978, \quad \varphi_2 = 12°;$$

$$\varphi_{1-2} = \varphi_1 - \varphi_2 = 68 - 12 = 56°;$$

f) hallamos las componentes activas y reactivas de las corrientes:

$$I_{a_1} = I_1 \cos \varphi_1 = 2 \cdot 0,371 = 0,742 \text{ A},$$
$$I_{a_2} = I_2 \cos \varphi_2 = 2,3 \cdot 0,978 = 2,24 \text{ A}.$$
$$I_{r_1} = I_1 \operatorname{sen} \varphi_1 = 2 \cdot 0,927 = 1,85 \text{ A},$$
$$I_{r_2} = I_2 \operatorname{sen} \varphi_2 = 2,3 \cdot 0,208 = 0,478 \text{ A},$$

de donde

$$I_a = I_{a_1} + I_{a_2} = 0,742 + 2,24 = 2,98 \text{ A},$$
$$I_r = I_{r_1} + I_{r_2} = 1,85 + 0,478 = 2,32 \text{ A}.$$

La intensidad de corriente I en la parte no ramificada del circuito se calcula por la fórmula

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2} = \sqrt{2,98^2 + 2,32^2} = 3,78 \text{ A}.$$

La intensidad de corriente I se puede determinar gráficamente mediante la construcción de un diagrama vectorial. Componiendo geométricamente las corrientes I_1 y I_2 se determina la corriente I como la diagonal de un paralelogramo.

g) $\cos \varphi = \frac{I_a}{I} = \frac{2,98}{3,78} = 0,788; \quad \varphi = 38°.$

398. Dos bobinas acopladas en paralelo se conectan a su vez a una red de corriente alterna de 120 V de tensión y 50 Hz de frecuencia. La resistencia pura de la primera bobina es de 10 Ω, la de la segunda, de 20 Ω y las inductancias de las bobinas son L_1=0,08 H y L_2=0,03 H, co-

rrespondientemente. Determinar la impedancia Z_1 y Z_2 de las bobinas; la intensidad de las corrientes I_1 e I_2 en las bobinas; la corriente total; el ángulo de desfasamiento entre la tensión U y la corriente I_1, entre la tensión U y la corriente I_2; entre la tensión U y la corriente I.

399. Un condensador de 2 μF de capacidad y una bobina con una inductancia de 0,05 H y una resistencia pura de 10 Ω se conectan en paralelo a una tensión de 1 000 V. La frecuencia de la corriente es de 600 Hz. Determinar la intensidad de las corrientes I_1 y I_2 en la bobina y en el circuito del condensador, así como el coseno del ángulo de desfasamiento entre la corriente I y la tensión U.

400. Un condensador de 8 μF de capacidad está acoplado en paralelo a una resistencia pura de $r=500$ Ω. Al circuito se ha aplicado una tensión de 125 V, la frecuencia de la corriente en el circuito es de 50 Hz. Determinar la intensidad de corriente que pasa por la resistencia pura y el condensador; la intensidad de corriente en la parte no ramificada del circuito; la reactancia capacitiva; el factor de potencia y la potencia activa que absorbe el circuito.

401. Una bobina de inducción está acoplada en paralelo con un condensador. Todo el sistema está conectado a una tensión de 120 V. Determinar la impedancia de la bobina de inducción y la intensidad de corriente en la capacidad, si la intensidad de corriente que pasa por la bobina es de 5 A y la reactancia capacitiva del condensador $X_C=20$ Ω.

402. De acuerdo con las condiciones del problema anterior construir el diagrama vectorial de las corrientes I_C y I_L en relación con la tensión y determinar gráficamente la intensidad de corriente en la parte no ramificada (bifurcada) del circuito, si el ángulo de desfasamiento entre la corriente en la bobina y la tensión es igual a 30°.

403. En una red de corriente alterna de 120 V de tensión y 50 Hz de frecuencia se conecta una instalación eléctrica que consume una corriente de 100 A de intensidad. El ángulo de desfasamiento entre la corriente y la tensión es igual a 30°. Determinar la capacidad de una batería de condensador que estando conectada a la red, reduce el ángulo φ hasta cero. Construir el diagrama vectorial para este caso.

Solución. Para conseguir la antirresonancia es necesario que

$$U \cdot 2\pi f C = I \operatorname{sen} \varphi,$$

de donde

$$C = \frac{I \operatorname{sen} \varphi}{U \cdot 2\pi f} = \frac{100 \cdot 0{,}5 \cdot 10^6}{120 \cdot 6{,}28 \cdot 50} = 1323\ \mu\text{F}.$$

404. A una red de corriente alterna de 120 V de tensión y de 50 Hz de frecuencia está conectada una instalación eléctrica que consume corriente de 5 A de intensidad. Una batería de condensadores de 60 μF de capacidad está acoplada en paralelo a la instalación. Determinar el ángulo de desfasamiento entre la corriente I_1 y la tensión, si el ángulo de desfasamiento entre la corriente total I y la tensión U es igual a cero.

Solución. Al disminuir el ángulo φ hasta cero las corrientes se hallarán en resonancia, es decir,

$$U \cdot 2\pi f C = I_1 \operatorname{sen} \varphi_1,$$

de donde

$$\operatorname{sen} \varphi_1 = \frac{U \cdot 2\pi f C}{I_1} = \frac{120 \cdot 6{,}28 \cdot 50 \cdot 60}{5 \cdot 1\,000\,000} = 0{,}453, \quad \varphi_1 = 27°.$$

405. Una bobina de inducción y un condensador están acoplados en paralelo y a su vez se conectan a una red de 100 V de tensión y 50 Hz de frecuencia. La inductancia de la bobina es de 0,02 H, su resistencia pura es igual a cero. La capacidad del condensador puede variar. Determinar la capacidad del condensador cuando aparece la antirresonancia y la intensidad de corriente que circula por la bobina.

406. A una red de corriente alterna de 220 V de tensión está conectado un motor eléctrico que consume corriente de 20 A de intensidad. El ángulo de desfasamiento entre la corriente y la tensión es igual a 30°. Determinar:

a) la potencia activa P;

b) la capacidad total S.

Solución:

a) la potencia activa es

$$P = IU \cos \varphi = 20 \cdot 220 \cdot 0{,}866 = 3810\ \text{W};$$

b) la capacidad total es

$$S = UI = 20 \cdot 220 = 4\,400\ \text{VA}.$$

407. Una instalación eléctrica consume corriente de 220 A de intensidad, desde una red de 6 000 V de tensión. ¿Cuál será el factor de potencia (cos φ), si la potencia activa P absorbida por la instalación es de 1 000 kW?

408. La resistencia inductiva de una bobina $X_L=40\ \Omega$, la resistencia pura $r=25\ \Omega$. La bobina está conectada a una fuente de corriente de tensión $U=220$ V y de frecuencia $f=50$ Hz. Determinar:

a) la impedancia Z;
b) la intensidad de corriente en la bobina;
c) la caída inductiva de tensión U_L;
d) la inductancia de la bobina L;
e) el coseno del ángulo de desfasamiento entre la corriente y la tensión;
f) la potencia P absorbida por la bobina.

Construir el triángulo de potencias.

409. En un circuito de corriente alterna de 400 Hz están conectados un amperímetro, una bobina de inducción, un vatímetro y un voltímetro.

El amperímetro indica la intensidad de corriente $I=4$ A, el vatímetro, la potencia $P=350$ W y el voltímetro, la tensión $U=120$ V. Determinar:

a) la capacidad total S;
b) el coseno del ángulo de desfasamiento entre la corriente y la tensión;
c) la caída inductiva de tensión U_L;
d) la caída activa de tensión U_a;
e) la inductancia de la bobina L.

410. En un circuito oscilante (en paralelo) la inductancia de la bobina $L=8$ mH, la capacidad del condensador $C=80\ \mu$F y la resistencia pura $r=50\ \Omega$. El generador al que está conectado el circuito tiene la tensión de 100 V y su frecuencia es igual a la frecuencia de las oscilaciones propias del circuito (aparece la antirresonancia). Determinar:

a) la resistencia del circuito;
b) la intensidad de corriente del generador;
c) la intensidad de corriente en el circuito;
d) la potencia reactiva de las oscilaciones en el circuito;
e) la potencia activa absorbida por el generador.

Construir el diagrama vectorial de la antirresonancia.

Solución. a) la resistencia del circuito se determina de acuerdo con la fórmula:

$$Z = \frac{L}{rC} = \frac{8 \cdot 10^{12}}{80 \cdot 10^3 \cdot 50} = 2\,000\,000\Omega;$$

b) la intensidad de corriente del generador es

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{100}{2\,000\,000} = 0{,}00005 \text{ A} = 0{,}05 \text{ mA};$$

c) la intensidad de corriente en el circuito se halla de acuerdo con la fórmula:

$$I_{clr} = \frac{U}{X_L} \text{ ó } I_{clr} = \frac{U}{X_C}.$$

Para determinar X_L y X_C se define previamente f:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{6{,}28\sqrt{0{,}008 \cdot 80 \cdot 10^{-12}}} = 200\,000 \text{ Hz};$$

$$X_L = 2\pi f L = 6{,}28 \cdot 200\,000 \cdot 0{,}008 \approx 10\,000\Omega;$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{10^{12}}{6{,}28 \cdot 200\,000 \cdot 80} \approx 10\,000\Omega;$$

de donde

$$I_{clr} = \frac{100}{10\,000} = 0{,}01 \text{ A} = 10 \text{ mA};$$

d) la potencia reactiva de las oscilaciones en el circuito viene dada por

$$Q = UI_{clr} = 100 \cdot 0{,}01 = 1 \text{ VAr};$$

e) la potencia activa adsorbida por el generador es

$$P = I^2 r = 0{,}01^2 \cdot 50 = 0{,}005 \text{ W}.$$

411. A través de una bobina de inducción se hizo pasar corriente alterna de $I = 20$ A. Determinar la tensión aplicada a la bobina; las resistencias pura e inductiva y la impedancia, si la potencia activa absorbida por la bobina es de 500 W y cos $\varphi = 0{,}5$.

412. Calcular la resistencia equivalente de un circuito en paralelo, en caso de antirresonancia, si la inductancia $L = 2$ mH, la capacidad $C = 100$ pF y la resistencia $r = 20\ \Omega$.

413. Construir las curvas de variación de las corrientes i_1 y i_2, si la corriente i_1 adelanta a la i_2 en un ángulo de 30°, sus frecuencias son iguales entre sí y la amplitud

de la corriente i_2 es dos veces mayor que la amplitud de la i_1.

414. Construir las curvas de variación de las f.e.m. e_1 y e_2 de fases coincidentes, si la amplitud de e_1 es tres veces mayor que la amplitud de e_2.

415. Construir las curvas de variación de las corrientes i_1, i_2 y i_3, desde el punto cero inicial común, si sus amplitudes son iguales, la frecuencia de la corriente i_1 es dos veces menor que la frecuencia de la corriente i_2 y la frecuencia de la corriente i_2 es dos veces menor que la frecuencia de la corriente i_3.

416. Sumar las curvas de variación de las dos corrientes i_1 y i_2 de fases coincidentes que tienen las amplitudes $I_{p1}=20$ A, $I_{p2}=30$ A.

417. Sumar las curvas de variación de las dos corrientes i_1 y i_2 desfasadas en 30° y que tienen las amplitudes $I_{p_1}=100$ mA y $I_{p2}=50$ mA.

418. Dos bobinas de inducción están acopladas en paralelo y conectadas a una red de 115 V de tensión. Determinar la intensidad de las corrientes en los ramales y en la parte no ramificada (bifurcada) del circuito, si $r_1=3\ \Omega$; $X_{L_1}=2\ \Omega$; $r_2=1\ \Omega$; $X_{L_2}=3\ \Omega$.

419. A una red de 120 V de tensión está conectada una carga que consume una potencia activa de 7,2 kW, siendo $\cos\varphi=0{,}6$ y la frecuencia de la corriente alterna $f=50$ Hz. Calcular la capacidad del condensador que se puede conectar en paralelo a la carga para aumentar el $\cos\varphi$ hasta 0,8.

Solución. Si $\cos\varphi=0{,}6$ la intensidad de la corriente de carga será

$$I_1=\frac{P}{U\cos\varphi}=\frac{7200}{120\cdot 0{,}6}=100\text{ A}.$$

Si $\cos\varphi=0{,}6$, $\operatorname{sen}\varphi=0{,}8$.

La componente inductiva de la corriente de carga es

$$I_{r_1}=I_1\operatorname{sen}\varphi=100\cdot 0{,}8=80\text{ A}.$$

Si el condensador está acoplado en paralelo a la carga, cuando $\cos\varphi=0{,}8$, tendremos $\operatorname{sen}\varphi=0{,}6$.

Con $\cos\varphi=0{,}8$ la intensidad de corriente de la carga será

$$I_2=\frac{P}{U\cos\varphi}=\frac{7200}{120\cdot 0{,}8}=75\text{ A}.$$

La componente inductiva de corriente de la carga es

$$I_{r_2} = I_2 \operatorname{sen} \varphi = 75 \cdot 0{,}6 = 45 \text{ A}.$$

La intensidad de corriente del circuito del condensador es

$$I_C = I_{r_1} - I_{r_2} = 80 - 45 = 35 \text{ A}.$$

La reactancia capacitiva es

$$X_C = \frac{U}{I_C} = \frac{120}{35} = 3{,}428 \Omega,$$

$$C = \frac{1}{X_C \omega} = \frac{10^6}{3{,}428 \cdot 6{,}28 \cdot 50} = 930{,}23 \ \mu\text{F}.$$

XIII. CORRIENTE ALTERNA TRIFASICA

La tensión compuesta y la intensidad de una corriente de línea en caso de carga uniforme de fases y acoplamiento en estrella se calculan por las fórmulas:

$$U_{com} = U_f \sqrt{3} \text{ e } I_l = I_f.$$

La tensión compuesta y la intensidad de corriente de línea con carga uniforme de fases y acoplamiento en triángulo se determinan así:

$$U_{com} = U_f; \qquad I_l = I_f \sqrt{3}.$$

siendo U_{com} la tensión compuesta, en V;
U_f la tensión de fase, en V;
I_l la intensidad de corriente de línea, en A;
I_f la intensidad de corriente de fase, en A.

La potencia activa de la corriente alterna trifásica con una carga uniforme de fases se calcula por las fórmulas:

$$P = 3U_f I_f \cos \varphi, \text{ W} \text{ ó } P = \sqrt{3}\, U_{com} I_l \cos \varphi, \text{ W}.$$

Problemas

420. A un generador de corriente trifásica, cuyos devanados están acoplados en estrella, se conecta una carga, también acoplada en estrella. La tensión de fase del generador $U_f = 1\,000$ V, la resistencia pura de carga de cada fase $r = 50\ \Omega$ y la inductiva $X_L = 25\ \Omega$.

Determinar: la intensidad de las corrientes de línea y de fase; la tensión compuesta U_{com} y el coseno del ángulo de desfasamiento entre la corriente y la tensión.

Solución. Para determinar la corriente de fase se calcula previamente la impedancia Z:

$$Z = \sqrt{r^2 + X_L^2} = \sqrt{50^2 + 25^2} = 56\Omega.$$

La intensidad de las corrientes de fase

$$I_f = \frac{U_f}{Z} = \frac{1000}{56} = 17{,}8 \text{ A}.$$

La intensidad de las corrientes de línea $I_l = I_f = 17{,}8$ A.

La tensión compuesta $U_{com} = U_f \sqrt{3} = 1\,000 \cdot 1{,}73 = 1\,730$ V.

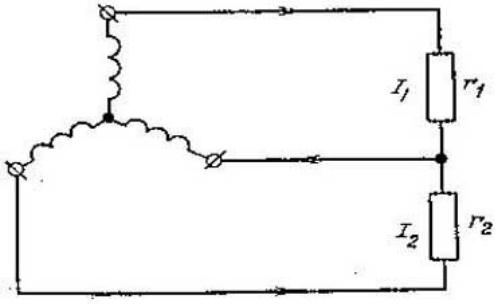


Fig. 42

El coseno del ángulo de desfasamiento $\cos \varphi = \frac{r}{Z} = \frac{50}{56} = 0{,}89$.

421. Dos resistencias puras $r_1 = 12\,\Omega$ y $r_2 = 20\,\Omega$ están conectadas a las tres bornas de un generador trifásico, cuyos devanados están acoplados en estrella (fig. 42) La tensión de fase del generador $U = 127$ V. Determinar la intensidad de corriente I_1 que fluye por la resistencia pura r_1 y la intensidad de corriente I_2 que circula por la resistencia pura r_2.

422. Desde un generador trifásico se suministra una tensión compuesta $U_{com} = 120$ V a una carga que consta de 100 lámparas en cada fase. La potencia de cada lámpara es de 150 W. Determinar:

a) la intensidad de corriente de línea I_l;

b) la intensidad de corriente de fase I_f en cada grupo de lámparas, si éstas están acopladas en triángulo;

c) la tensión de fase de las lámparas, si están acopladas en estrella.

Solución:

a) la potencia absorbida $P=3 \cdot 100 \cdot 150=45\,000$ W; la potencia activa $P=\sqrt{3} I_l U_{com}$, de donde

$$I_l = \frac{P}{U_{com}\sqrt{3}} = \frac{45\,000}{120 \cdot 1,73} = 216 \text{ A};$$

b) $I_f = \frac{I_l}{\sqrt{3}} = \frac{216}{1,73} = 125$ A;

c) $U_f = \frac{U_{com}}{\sqrt{3}} = \frac{120}{1,73} = 69,5$V.

423. Tres bobinas de inducción están acopladas en triángulo y conectadas a una red de 120 V de tensión. Las bobinas tienen resistencias puras: $r_1=3\ \Omega$; $r_2=2\ \Omega$; $r_3=6\ \Omega$ y las respectivas resistencias inductivas: $X_{L_1}=20\ \Omega$; $X_{L_2}=15\ \Omega$; $X_{L_3}=30\ \Omega$. Determinar la potencia activa de las bobinas.

424. Los devanados de un motor eléctrico de corriente trifásica se acoplan en estrella al arrancar y en triángulo al trabajar. ¿En cuánto disminuye la corriente de arranque durante este acoplamiento: a) en las líneas principales; b) en el devanado del motor?

425. La tensión en las bornas de un generador de corriente trifásica $U=220$ V. Determinar la potencia de salida del generador; la caída de tensión en los conductores y la tensión en las bornas de la carga activa acoplada en triángulo, si la resistencia de cada uno de los conductores es de 0,25 Ω y la intensidad de corriente en los conductores es de 24 A.

Solución. Con una carga activa $\cos \varphi=1$. Por eso

$$P = \sqrt{3} UI \cos \varphi = 1,73 \cdot 220 \cdot 24 = 9134,4 \text{ W}.$$

La caída de tensión en los conductores es

$$U = \sqrt{3}\, Ir \cos \varphi = 1,73 \cdot 24 \cdot 0,25 \cdot 1 = 14,36 \text{ W}.$$

La tensión en las bornas de la carga es

$$U = 220 - 14,36 = 205,64 \text{ V}.$$

426. Tres grupos iguales de lámparas están acoplados en triángulo, en tanto que los devanados del transforma-

dor trifásico que suministra la energía eléctrica están acoplados en estrella. La resistencia de cada grupo de lámparas es de 22 Ω y la tensión de fase del transformador $U_f = 127$ V.

Determinar la intensidad de corriente en el devanado de cada fase del transformador y la intensidad de corriente en cada grupo de lámparas.

427. Un generador de corriente trifásica puede suministrar a un consumidor corriente hasta de 80 A. ¿Cuántas lámparas de incandescencia acopladas en triángulo se pueden conectar a aquél, si cada lámpara consume 0,5 A de corriente?

428. Un generador de corriente trifásica se halla a 100 m de distancia de una carga que consta de 120 lámparas acopladas en triángulo simétricamente con potencia de 50 W cada una. Cada lámpara se halla a una tensión de 220 V. Determinar:

a) la intensidad de corriente en el conductor de línea;

b) la resistencia de un conductor, si la caída de tensión en éste es de un 2% de la tensión en las lámparas.

429. Un generador de corriente trifásica de 6600 V de tensión está conectado a un transformador reductor de 6 600/220 V. El devanado secundario del transformador está conectado a una carga de 120 lámparas acopladas en triángulo (carga uniforme). Determinar la potencia y la intensidad de corriente del generador, si $\cos \varphi = 1$; la intensidad de corriente consumida por cada lámpara es de 0,5 A; las pérdidas de potencia en el generador, transformador y en las líneas principales es de un 6%.

Solucion. La intensidad de corriente en cada fase de la carga es

$$I_f = 0{,}5 \cdot \frac{120}{3} = 20 \text{ A}.$$

La intensidad de corriente de línea es

$$I_l = 20 \cdot \sqrt{3} = 20 \cdot 1{,}73 = 34{,}6 \text{ A}.$$

La potencia absorbida por la carga es

$$P_c = \sqrt{3} U_{com} I_l = 1{,}73 \cdot 220 \cdot 34{,}6 = 13\,400 \text{ W}.$$

La potencia del generador es

$$P_g = \frac{P_c}{0{,}94},$$

siendo 0,94 el rendimiento del circuito.

$$P_g = \frac{13\,400}{0,94} = 14259,5 \text{ W}.$$

La intensidad de corriente del generador es

$$I_g = \frac{P_g}{\sqrt{3}\, U_{com}} = \frac{14259,5}{1,73 \cdot 6600} = 1,24 \text{ A}.$$

430. En una red de corriente trifásica con tensión compuesta de 220 V están uniformemente acopladas en triángulo 90 lámparas eléctricas iguales. Determinar la tensión en las bornas de cada lámpara, la intensidad de corriente de fase y línea, si la resistencia de cada lámpara es de 600 Ω.

431. La tensión compuesta es igual a 190 V. Al final de la línea, en cada fase están 70 lámparas de incandescencia acopladas paralelamente en estrella. ¿Cuál será la magnitud de la tensión de fase en las bornas de las lámparas, si la intensidad de corriente en cada una de ellas es igual a 0,5 A? Determinar la intensidad de corriente de línea en cada uno de los conductores de línea. La resistencia de los conductores se puede menospreciar.

Solución. La tensión de fase es

$$U_f = \frac{U_{com}}{\sqrt{3}} = \frac{190}{1,73} = 110 \text{ V}.$$

La intensidad de corriente de línea es

$$I_l = I_f = 0,5 \cdot 70 = 35 \text{ A}.$$

432. La intensidad de corriente en los devanados del estator de un motor asincrónico trifásico, siendo la tensión de 500 V, es de 220 A. La potencia en el árbol del motor es de 130 kW. Determinar el factor de potencia del motor y su potencia en la entrada, si con una carga normal el rendimiento es igual a un 88%.

433. Los devanados de un motor asincrónico trifásico se acoplan por el esquema en triángulo. Luego se acoplaron por el esquema en estrella. Determinar la tensión en los devanados del motor con posterioridad a la conmutación, si las tensiones compuestas son iguales a 380 V.

434. Tres receptores con resistencia pura $r_A = 3\ \Omega$, $r_B = 6\ \Omega$ y $r_C = 4\ \Omega$ están acoplados por el esquema en

estrella y conectados a una red cuatripolar de corriente alterna trifásica. La tensión compuesta es igual a 208 V. Determinar la intensidad de corriente y la potencia absorbida por cada receptor y la potencia consumida en la red trifásica.

435. La tensión compuesta en la red de corriente trifásica es igual a 220 V. En esta red se conectaron tres receptores de energía eléctrica acoplados en estrella. La resistencia de cada receptor $Z=20\ \Omega$.

436. En otro caso, estos receptores se acoplan en triángulo y se conectan a la misma red. Calcular la tensión de fase, las corrientes de fase y de línea en cada esquema de acoplamiento de los receptores y determinar ¿en cuánto variaron las corrientes de línea y de fase al conmutar los receptores del circuito en triángulo al circuito en estrella?

Solución. Acoplamiento en estrella.

$$U_f = \frac{U_{com}}{\sqrt{3}} = \frac{220}{1{,}73} = 127\ \text{V}; \qquad I_f = \frac{U_f}{Z} = \frac{127}{20} = 6{,}35\ \text{A};$$

$$I_l = I_f = 6{,}35\ \text{A}.$$

Acoplamiento en triángulo.

$$U_f = U_{com} = 220\ \text{V}; \quad I_f = \frac{U_f}{Z} = \frac{220}{20} = 11\ \text{A};$$

$$I_l = I_f \cdot \sqrt{3} = 11 \cdot 1{,}73 = 19{,}03\ \text{A}.$$

De este modo, al conmutar los receptores del circuito en estrella al circuito en triángulo, la corriente de línea se hizo $\frac{19{,}03}{6{,}35} \approx 3$ veces mayor; la corriente de fase se hizo $\frac{11}{6{,}35} \approx 1{,}73$ veces ó $\sqrt{3}$ veces mayor.

XIV. MEDICIONES ELECTRICAS

El **error absoluto** que indica el voltímetro es

$$\Delta U_v = U_{med} - U_r,$$

siendo U_{med} la tensión medida, en V;
U_r la tensión real, en V.

El error absoluto en las lecturas de un amperímetro es

$$\Delta A_a = A_{med} - A_r.$$

siendo A_{med} la intensidad medida de la corriente, en A;
A_r la intensidad real de la corriente, en A.

El **error reducido** del voltímetro es

$$\gamma_v = \frac{\Delta U}{U_{lim}},$$

siendo ΔU el error absoluto del voltímetro, en V;
U_{lim} el límite de medición del voltímetro, en V.

El error reducido del amperímetro es

$$\gamma_a = \frac{\Delta A}{A_{lim}},$$

siendo ΔA el error absoluto del amperímetro, en A;
A_{lim} el límite de medición del amperímetro, en A.

El error reducido, expresado en por ciento, se llama clase de precisión del aparato.

La potencia, absorbida por un amperímetro, es

$$P_a = I^2 r_a \text{ ó } P_a = I U_a,$$

siendo I la intensidad de corriente, en A;
r_a la resistencia del amperímetro, en Ω;
U_a la caída de tensión en las bornas del amperímetro, en V.

La potencia, absorbida por el voltímetro, es

$$P_v = \frac{U_v^2}{r_v}$$

siendo U_v la tensión medida por el voltímetro, en V;
r_v la resistencia del voltímetro, en Ω.

Para extender el límite de medición del amperímetro se le acopla en paralelo una derivación (shunt).

La resistencia de esta derivación es

$$r_{der} = \frac{r_a}{n-1},$$

siendo r_a la resistencia del amperímetro, en Ω;
n un número igual a la relación entre la intensidad de corriente a medir y la intensidad de corriente que el aparato dado puede medir:

$$n = \frac{I}{I_{ap}}.$$

Del mismo modo, para extender el límite de medición del voltímetro, se le acopla en serie una resistencia adicional.

La resistencia adicional es

$$r_{ad} = r_v (n-1),$$

siendo r_v la resistencia del voltímetro, en Ω;
n un número igual a la relación entre la tensión a medir

y la tensión que el aparato en cuestión puede medir:

$$n = \frac{U}{U_{ap}}.$$

La comprobación de un amperímetro requiere que se le acople en serie a un amperímetro patrón. El error absoluto del amperímetro a verificar será

$$\Delta I = I_{ver} - I_{pat},$$

siendo I_{ver} la lectura del amperímetro a verificar, en A;
I_{pat} la lectura del aparato patrón, en A.

La comprobación de un voltímetro requiere que se le acople en paralelo con un voltímetro patrón. El error absoluto del voltímetro a verificar será

$$\Delta U = U_{ver} - U_{pat},$$

siendo U_{ver} la lectura del voltímetro a verificar, en V;

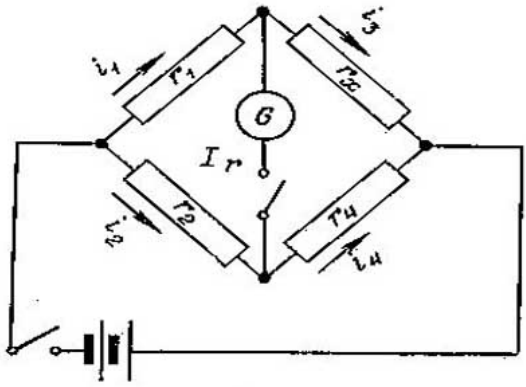


Fig. 43

U_{pat} la lectura del aparato patrón, en V.

La medición de resistencias se lleva a efecto haciendo uso del puente, cuyo esquema o circuito se muestra en la fig. 43. El método se aplica universalmente. Si el puente se encuentra en equilibrio,

$$r_x = \frac{r_1}{r_2} r_4,$$

siendo r_1, r_2, r_4 las resistencias de los brazos del puente, en Ω;
r_x la resistencia a medir, en Ω.

La capacidad y la inductancia se miden con puentes de esquemas análogos.

La capacidad a medir se calcula de acuerdo con la fórmula

$$C_x = \frac{r_1}{r_2} C_4.$$

La inductancia a medir se determina valiéndose de la fórmula

$$L_x = \frac{r_1}{r_2} L_4.$$

Problemas

437. Construir la característica de un aparato de medida eléctrica con una escala como la que se representa en la fig. 44.

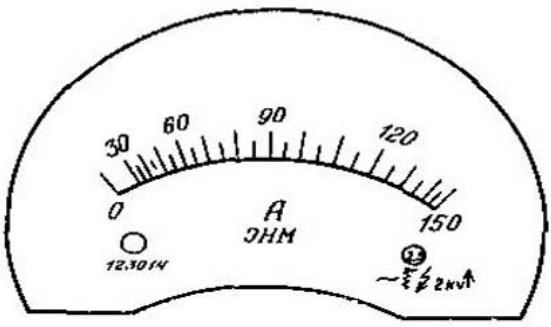


Fig. 44

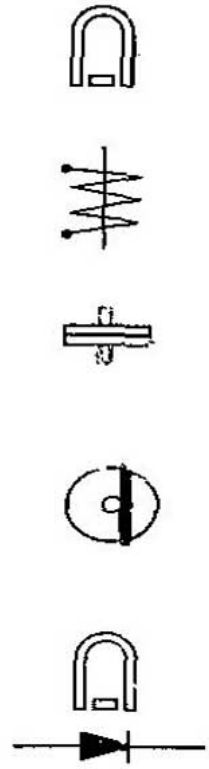


Fig. 45

438. ¿Cuál es el significado de los signos convencionales representados en la fig. 45?

439. ¿Con cuál de los tres aparatos de medida destinados a medir la tensión $U=150$ V se puede medir con

mayor exactitud la tensión, si la clase de precisión del primero es igual a 4, la del segundo, 1,5 y la del tercero, 0,1?

440. La aguja de un amperímetro conectado a un circuito indica que la intensidad de corriente medida es de 105 mA. El valor real de la intensidad de corriente en el circuito es de 100 mA. Calcular el error absoluto de la medición.

441. El valor real de la tensión de una red es de 220 V. El error absoluto en la medición de la tensión realizada con un voltímetro es igual a 4 V. Determinar la lectura del voltímetro.

442. La resistencia del devanado de un electroimán medida con un ohmímetro es igual a 605 Ω. El error absoluto en la medición de la resistencia (en el sentido de su incremento) es $\Delta r = 5$ Ω. Calcular la resistencia real del devanado del electroimán.

443. En la escala de un amperímetro puede verse que la mayor intensidad de corriente susceptible de medición es igual a 100 A. Determinar la clase de precisión a la que pertenece este amperímetro, si se sabe que el mayor error absoluto en sus lecturas es 0,2 A.

444. Por el amperímetro de un sistema electromagnético circula una corriente de 0,02 de intensidad. La caída de tensión en el aparato $U_a = 0{,}05$ V. Determinar la potencia absorbida por el aparato y su resistencia.

445. La resistencia de un voltímetro es de 1000 Ω. Por su devanado pasa una corriente de 7 mA de intensidad. ¿Cuál será la potencia absorbida por este aparato?

446. Un voltímetro, cuya clase de precisión es 2,5, puede medir una tensión $U = 250$ V. Con este aparato se midió una tensión de 125 V. Determinar el máximo error posible de la medición realizada.

447. En los extremos de una resistencia $r = 1000$ Ω, un voltímetro indicó una tensión de 120 V. En el circuito de esta resistencia fluye corriente de 112,5 mA. Calcular el error absoluto de la medición.

448. Con un amperímetro calculado para una intensidad límite de corriente $I = 10$ A se midió corriente de 7,5 A. La clase de precisión del amperímetro es de 1,5. Determinar el máximo error posible en la medición.

449. Al comprobar un miliamperímetro, el aparato patrón indicó que la intensidad de corriente en el circuito es

de 450 mA y el aparato a comprobar indicó una intensidad de corriente igual a 480 mA. Determinar el error absoluto del aparato a comprobar.

450. Un voltímetro para comprobaciones se acopló en paralelo a un aparato patrón que midió una tensión $U_{pat}=112{,}5$ V en tanto que el voltímetro a comprobar midió 120 V. Calcular el error absoluto en las lecturas del voltímetro.

451. Un voltímetro permite medir una tensión $U=150$ V. Calcular la magnitud de la resistencia adicional que se le debe conectar para medir una tensión de 450 V, si la resistencia del voltímetro es de 15 000 Ω.

452. ¿Qué tensión indicará un voltímetro conectado a las bornas de una fuente de corriente, si su f.e.m. es de 15 V, la resistencia interior, $r_{int}=40$ Ω y la resistencia del voltímetro, $r_v=1460$ Ω? Determinar la lectura de un voltímetro que tiene la resistencia $r_v=4460$ Ω.

Solución:

a) la resistencia del circuito consta de la resistencia interior de la fuente de energía eléctrica y de la resistencia del voltímetro (la resistencia de los conductores se considera igual a cero), por consiguiente,

$$r_{cir} = r_{int} + r_v = 40 + 1460 = 1500\Omega.$$

La intensidad de corriente en este circuito se determina por la ley de Ohm:

$$I = \frac{E}{r_{cir}} = \frac{15}{1500} = 0{,}01 \text{ A}.$$

La lectura del voltímetro es:

$$U_v = Ir_v = 0{,}01 \cdot 1460 = 14{,}6 \text{ V}.$$

La caída de la tensión en la resistencia interior de la fuente compone:

$$U_{int} = 15 - 14{,}6 = 0{,}4 \text{ V};$$

b) si el voltímetro va a tener una resistencia $r_v = 4460\Omega$, la resistencia del circuito será:

$$r_{cir} = r_{int} + r_v = 40 + 4460 = 4500\Omega.$$

La intensidad de corriente en el circuito $I = \frac{E}{r_{cir}} = \frac{15}{4500} = 0{,}0033$ A.

La lectura del voltímetro es:

$$U_v = Ir_v = 0{,}0033 \cdot 4460 = 14{,}72\text{V}.$$

453. Un amperímetro, cuyo devanado tiene una resistencia $r_a = 0{,}4\ \Omega$, está calculado para medir corriente de 10 A. Determinar la resistencia de la derivación, si con el amperímetro hay que medir una corriente de 50 A de intensidad.

S o l u c i ó n. La corriente en la derivación $I_{der} = I_1 - I_2 = 50 - 10 = 40$ A.

Si las resistencias están acopladas en paralelo, las corrientes se distribuyen en forma inversamente proporcional a las resistencias:

$$\frac{I_a}{I_{der}} = \frac{r_{der}}{r_a},$$

de donde

$$r_{der} = \frac{I_a r_a}{I_{der}} = \frac{10 \cdot 0{,}4}{40} = 0{,}1\ \Omega.$$

454. El devanado del marco de un voltímetro tiene una resistencia $r_a = 30\ \Omega$ y por el mismo puede pasar una corriente de 0,001 A de intensidad (1 mA). ¿Qué resistencia r_{der} hay que conectar al voltímetro para que pueda medir corriente de 0,5 A de intensidad (500 mA)?

455. Un miliamperímetro tiene dos escalas: para 30 y 300 mA. La resistencia del aparato para medir una intensidad de corriente de 30 mA es igual a 1 Ω. Calcular la magnitud de la resistencia de la derivación conectada al aparato, al medir la intensidad de corriente de 300 mA.

456. Un amperímetro está calculado para medir una intensidad de corriente $I_a = 0{,}25$ A y tiene una resistencia $r_a = 0{,}5\ \Omega$. Este aparato se debe utilizar para medir las intensidades de corriente: 0,5; 0,75; 1,5 y 3 A. Calcular en cada caso la resistencia de la derivación que convenga conectar al aparato a fin de medir estas corrientes.

457. La resistencia del brazo de puente $r_1 = 100\ \Omega$ y la del brazo $r_2 = 10\ \Omega$. La resistencia del brazo de comparación del puente $r_4 = 256\ \Omega$. Determinar la resistencia r_x.

458. En un puente para la medición de resistencias se ha logrado que no circule corriente por un galvanómetro, eligiéndose al efecto los brazos del puente. Determinar la magnitud de la resistencia r_x, si $r_1 = 10\ \Omega$, $r_2 = 100\ \Omega$, $r_4 = 1941\ \Omega$.

459. Al medir la resistencia de unos conductores de línea, la aguja del galvanómetro de puente se detuvo en la división cero. En este caso, $r_1 = 10\ \Omega$, $r_2 = 100\ \Omega$; $r_4 = 20\,000\ \Omega$. ¿Cuál es la resistencia de estos conductores?

460. Al medir la resistencia con un puente, un alumno encontró la magnitud: $r_1 = 100\ \Omega$, $r_2 = 10\ \Omega$. Cuando la resistencia del brazo $r_4 = 700\ \Omega$, la aguja del galvanómetro marcaba cero. Determinar la magnitud de la resistencia a medir.

461. Un voltímetro con resistencia interior de 600 Ω está calculado para medir una tensión de 60 V. ¿Qué resistencia adicional hay que conectarle para que pueda medir una tensión de 300 V?

462. Un voltímetro con resistencia interior de 3 000 Ω permite medir una tensión igual a 150 V. ¿Qué resistencia adicional hay que conectar al voltímetro para que pueda medir una tensión de 450 V?

Solución. La mayor desviación de la aguja del voltímetro tiene efecto cuando la intensidad de corriente es

$$I = \frac{U}{r_1} = \frac{150}{3\,000} = 0{,}05\ \text{A}.$$

La resistencia del voltímetro al medir una tensión de $U = 450$ V es:

$$r = \frac{U}{I} = \frac{450}{0{,}05} = 9\,000\Omega.$$

El aparato tiene una resistencia de 3 000 Ω. Por lo tanto, la medición de una tensión de $U = 450$ V requiere la conexión en serie de una resistencia igual a $r_{ad} = 9\,000 - 3\,000 = 6\,000\ \Omega$.

463. Un voltímetro, cuya resistencia es 12 000 Ω, indica una tensión de 96 V. Determinar la intensidad de corriente que pasa por el voltímetro. ¿Cuál es la pérdida de potencia en este último?

464. Un amperímetro conectado a un circuito indica 0,5 A; su resistencia es de 0,02 Ω. ¿Cuál será el valor de la magnitud de la tensión en el aparato y las pérdidas de potencia en el mismo?

465. Dos voltímetros miden una tensión homóloga $U = 40$ V. Uno tiene una resistencia de 4 000 Ω y el

otro, de 1 000 Ω. ¿En cuál de estos aparatos son mayores las pérdidas de potencia?

466. Cuando la capacidad de un puente telefónico era $C_4=1\ 200$ pF, el sonido era mínimo. Las resistencias de los brazos de puente eran $r_1=r_2$. Determinar la magnitud de la capacidad C_x.

467. Las resistencias de los brazos de puente son $r_1=80\ \Omega$ y $r_2=40\ \Omega$. La capacidad $C_4=2\ 400$ pF. ¿Cuál será el valor de la capacidad C_x?

468. Al medir la inductancia mediante un puente resultó que en un teléfono el sonido era mínimo cuando $r_1=10\ \Omega$ y $r_2=100\ \Omega$. La inductancia $L_4=20$ mH. Determinar la inductancia L_x.

XV. TRANSFORMADORES

El valor eficaz de la f.e.m. en los devanados de un transformador se determina por las siguientes fórmulas:

$$E_1 = 4{,}44\Phi_{mag} f w_1$$

$$E_2 = 4{,}44\Phi_{mag} f w_2,$$

siendo E_1 y E_2 la f.e.m. en los devanados primario y secundario, en V;

Φ_{mag} el flujo magnético, en Wb;

f la frecuencia de la corriente alterna, en Hz;

w_1 y w_2 la cantidad de espiras en los devanados primario y secundario.

La relación de transformación de un transformador se puede calcular en términos de las fórmulas:

$$n = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2},$$

siendo U_1 y U_2 las tensiones en las bornas de los devanados primario y secundario.

La potencia de entrada al devanado primario del transformador es

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1, \text{ W}.$$

La potencia de salida del transformador es

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2, \text{ W}.$$

El rendimiento del transformador es

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}.$$

Las pérdidas de potencia en el transformador se dividen en pérdidas del núcleo y pérdidas del devanado:

$$P_{trans} = P_{núc} + P_{dev}.$$

De manera que el rendimiento del transformador es

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{núc} + P_{dev}} = \frac{U_2 I_2 \cos \varphi_2}{U_2 I_2 \cos \varphi_2 + P_{núc} + P_{dev}}.$$

El rendimiento de un transformador trifásico es

$$\eta = \frac{\sqrt{3}\, U_2 I_2 \cos \varphi_2}{\sqrt{3}\, U_2 I_2 \cos \varphi_2 + P_{núc} + P_{dev}}.$$

La relación de transformación de un autotransformador es

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}.$$

En los transformadores de tensión tenemos que la relación de transformación en la tensión es

$$n_u = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}.$$

En los transformadores de intensidad tenemos que la relación de transformación en la corriente es

$$n_i = \frac{I_1}{I_2}.$$

Problemas

469. La intensidad de corriente en el devanado primario de un transformador monofásico es de 30 A, la potencia absorbida desde la fuente de corriente $P_1 = 5$ kW. Determinar la tensión aplicada U_1, si el coseno del ángulo de desfasamiento entre la corriente y la tensión $\cos \varphi_1 = 0{,}8$.

470. La relación de transformación de un transformador monofásico $n = 60$; la tensión primaria $U_1 = 6\,600$ V; la intensidad de corriente de marcha en vacío en el devanado primario $I_1 = 10$ A; el coseno del ángulo de desfasamiento entre la corriente y la tensión $\cos \varphi_1 = 0{,}3$. Determinar la potencia absorbida por el transformador durante la marcha en vacío y la tensión en los terminales del devanado secundario.

471. La potencia P_1 absorbida por el devanado primario de un transformador monofásico es de 5 kW; la intensidad de corriente de la carga $I_2 = 50$ A y el coseno del ángulo de desfasamiento entre la corriente I_2 y la tensión $\cos \varphi_2 = 0{,}9$. Determinar la tensión U_2, si el rendimiento del transformador $\eta = 0{,}94$.

Solución. El rendimiento $\eta = \frac{P_2}{P_1}$, de donde

$$P_2 = \eta P_1 = 0{,}94 \cdot 5 = 4{,}7 \text{ kW}$$

ó

$$P_2 = I_2 U_2 \cos \varphi_2,$$

de donde

$$U_2 = \frac{P_2}{I_2 \cos \varphi_2} = \frac{4\,700}{50 \cdot 0{,}9} = 104{,}4 \text{V}.$$

472. El devanado primario de un transformador monofásico que tiene un número de espiras $w_1 = 1\,000$ está conectado a una red de $U_1 = 220$ V de tensión. El devanado secundario tiene 50 espiras. Determinar la relación de transformación n y la tensión en las bornas del devanado secundario.

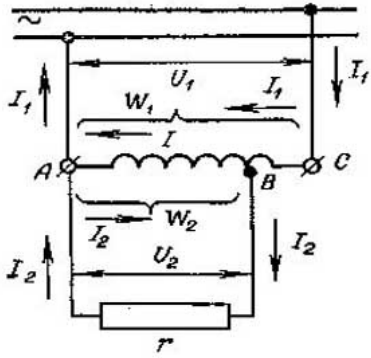


Fig. 46

473. Un autotransformador (fig. 46) que tiene un devanado con una cantidad de espiras $w_1 = 2\,000$, está conectado a una red de $U_1 = 1\,000$ V. El circuito secundario tiene un número de espiras $w_2 = 1500$ y a este circuito va conectada una resistencia pura $r = 100\ \Omega$. El rendimiento del autotransformador es de un 98%. Determinar:

a) la intensidad de corriente I_1 consumida de la red;
b) la corriente en la sección AB;
c) la corriente en la sección BC.

Solución:

a) la tensión secundaria U_2 se encuentra a base de la igualdad de las relaciones:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2},$$

de donde

$$U_2 = \frac{U_1 w_2}{w_1} = \frac{1\,000 \cdot 1\,500}{2\,000} = 750 \text{ V}.$$

La intensidad de corriente secundaria es

$$I_2 = \frac{U_2}{r} = \frac{750}{100} = 7{,}5\text{A}.$$

Puesto que el transformador está cargado por la resistencia pura, $\cos \varphi = 1$. Entonces la potencia de salida

del circuito secundario será:

$$P_2 = I_2 U_2 = 7{,}5 \cdot 750 = 5625 \text{ W}.$$

La potencia P_1 absorbida por el circuito primario será:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{5625}{0{,}98} = 5740 \text{ W}.$$

La intensidad de corriente consumida desde la red es

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{5\,740}{1\,000} = 5{,}74 \text{ A};$$

b) la intensidad de corriente en la sección AB es igual a:

$$I_2 - I_1 = 7{,}5 - 5{,}74 = 1{,}76 \text{ A};$$

c) la intensidad de corriente en la sección BC es igual a 5,74 A.

474. El devanado secundario de un transformador monofásico suministra a un consumidor una potencia $P_2 = 100$ kVA. Determinar la intensidad de corriente en el devanado primario, si éste está conectado a una red de 6 600 V de tensión. El rendimiento del transformador es de un 96%.

475. Un autotransformador monofásico está conectado a una tensión $U_1 = 100$ V. La potencia P_2 absorbida por la carga es igual a 35 W y la tensión $U_2 = 10$ V, siendo $\cos \varphi = 1$. Determinar la intensidad de corriente I_1 y la I en la parte común del devanado del autotransformador, si su rendimiento es de un 94%.

476. El número de espiras en el devanado primario de un transformador monofásico es de 1200. Su relación de transformación $n = 40$. El valor máximo del flujo magnético $\Phi_{mag} = 0{,}01$ Wb, la frecuencia de la corriente alterna $f = 50$ Hz. Determinar las f.e.m. E_1 y E_2 y la cantidad de espiras w_2.

477. Una corriente alterna de $f = 50$ Hz de frecuencia, al pasar por el devanado primario de un transformador monofásico, crea un flujo magnético alterno de valor máximo $\Phi_{mag} = 0{,}02$ Wb, en tanto que la f.e.m. inducida en el devanado secundario $E_2 = 2\,200$ V. Determinar la cantidad de espiras en los devanados primario y secundario y la f.e.m. E_1, si la relación de transformación $n = \frac{1}{20}$.

478. Un transformador trifásico de potencia útil igual a 60 kW está conectado a una línea de 2 000 V de tensión. En las bornas del devanado secundario (cuando la carga es sin inducción) debe haber una tensión de 220 V. El rendimiento del transformador es de un 96%. Calcular las intensidades de corriente I_{01} y I_{02} en los devanados, cuando están acoplados en estrella.

Solución. La potencia del transformador es

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{60\,000}{0,96} = 62\,500 \text{ W}.$$

La intensidad de corriente en el devanado primario es

$$I_1 = I_{0_1} = \frac{P_1}{\sqrt{3}\, U_1 \cos \varphi_1} = \frac{62\,500}{1,73 \cdot 2\,000 \cdot 1} \approx 18 \text{ A}.$$

La intensidad de corriente en el devanado secundario es

$$I_2 = I_{0_2} = \frac{P_2}{\sqrt{3}\, U_2 \cos \varphi_2} = \frac{60\,000}{1,73 \cdot 220 \cdot 1} \approx 175,7 \text{ A}.$$

479. Calcular la pérdida de potencia en un transformador monofásico, si la potencia activa de salida del devanado secundario es igual a 500 kW. El rendimiento del transformador es igual a un 99%.

480. La tensión en las bornas del devanado primario de un autotransformador es igual a 125 V. La tensión secundaria es de 210 V. La carga del autotransformador es activa, con la particularidad de que la intensidad de corriente del circuito secundario es igual a 15 A. Calcular la intensidad de corriente en el circuito y en las demás espiras del devanado del autotransformador.

481. El devanado secundario de un transformador monofásico suministra una potencia de 300 kVA. Determinar la intensidad de corriente en el devanado primario, si el rendimiento del transformador es de un 98% y la tensión $U_1 = 6\,000$ V.

482. El devanado primario de un transformador monofásico está conectado a una red de 220 V. Determinar la relación de transformación y la intensidad de corriente en el devanado primario, si es necesario garantizar una tensión de 6,3 V y una corriente de 1,5 A.

483. La potencia de un transformador monofásico de alumbrado $P_2 = 50$ kVA. Determinar el rendimiento del

transformador a plena carga; se sabe que en la marcha en vacío su potencia activa absorbida $P_0=800$ W y durante el experimento en corto circuito la potencia $P_c=1200$ W.

Solución.

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + P_c} = \frac{50 \cdot 100\%}{50 + 0{,}8 + 1{,}2} = 96{,}2\%.$$

484. Determinar el número de espiras de los devanados primario y secundario de un transformador monofásico, si se sabe que la f.e.m. del primario es de 220 V y la del secundario es igual a 30 V. El flujo magnético en el núcleo es de $1{,}25 \cdot 10^5$ M, la frecuencia de la corriente en la red es de 50 Hz.

Solución. El valor eficaz de la f. e. m. del devanado primario $E_1 = 4{,}44 w_1 \cdot f \Phi_{mag} 10^{-8}$.

De aquí $w_1 = \frac{E_1 \cdot 10^8}{4{,}44 f \cdot \Phi_{mag}} = \frac{220 \cdot 10^8}{4{,}44 \cdot 50 \cdot 1{,}25 \cdot 10^6} = 800$ espiras.

El valor eficaz de la f. e. m. del devanado secundario $E_2 = 4{,}44 w_2 f \Phi_{mag} 10^{-8}$.

De aquí $w_2 = \frac{E_1 \cdot 10^8}{4{,}44 f \cdot \Phi_{mag}} = \frac{30 \cdot 10^8}{4{,}44 \cdot 50 \cdot 1{,}25 \cdot 10^6} =$ $= 108$ espiras.

485. En el núcleo de un transformador conectado a una red de corriente alterna de 50 Hz de frecuencia se genera un flujo magnético igual a 10^5 Mx. El número de espiras del devanado primario $w_1=572$, el del secundario $w_2=108$. Determinar la f.e.m. de cada uno de los devanados del transformador.

XVI. MOTORES ASINCRONICOS

El número de revoluciones del campo magnético giratorio de un motor asincrónico es

$$n = \frac{60f}{p},$$

siendo n el número de revoluciones por minuto del campo de un motor asincrónico; *
f la frecuencia de corriente alterna, en Hz;
p el número de pares de polos.

El resbalamiento del motor se determina de la fórmula

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1},$$

siendo s el resbalamiento en unidades relativas;
n_1 el número de revoluciones por minuto del campo;
n_2 el número de revoluciones por minuto del rotor.

El resbalamiento en tantos por ciento $s\% = \frac{n_1 - n_2}{n_2} \cdot 100\%$.

La potencia absorbida por el motor desde una red de corriente trifásica $P_1 = \frac{P_2}{\eta}$,

siendo P_2 la potencia útil, en W;
η el rendimiento del motor.

Problemas

486. La magnitud de resbalamiento de un motor asincrónico es de un 4%. Determinar el número de revoluciones del rotor, si se sabe que la velocidad del campo magnético giratorio es de 1 500 r.p.m.

487. Un motor de corriente alterna trifásica trabaja bajo una tensión de 400 V y consume una corriente de 100 A de intensidad. Determinar la potencia en el eje del motor, si se sabe que el factor de potencia es igual a 0,87 y el rendimiento del motor es 0,88.

488. Un motor asincrónico trifásico consume corriente de 20 A de intensidad desde una red de 220 V de tensión. Determinar la potencia de salida del motor, si se sabe que su factor de potencia es 0,8 y el rendimiento es 0,85.

489. El campo magnético giratorio de un motor asincrónico trifásico realiza 3 000 r. p. m., siendo la frecuencia de la corriente de 50 Hz. ¿Cuál será la frecuencia de la corriente alterna para alimentar al devanado del estator para que el número de revoluciones por minuto del campo sea igual a 750?

490. Los devanados de un motor eléctrico trifásico están acoplados en triángulo, la potencia activa absorbida es de 10 kW, siendo 220 V la tensión compuesta

---

* Una vuelta por segundo (del sistema MKGS) corresponde a 2π rad/s (del sistema SI).

y 0,8 el factor de potencia. Determinar la intensidad de las corrientes de línea y de fase del motor eléctrico.

491. Un motor eléctrico monofásico conectado a una red de 120 V de tensión consume una corriente de 4 A. ¿Cuál será la capacidad total y la potencia activa absorbidas de la red por el motor si se sabe que el factor de potencia del motor es 0,8?

492. Un motor eléctrico de corriente alterna trifásica está conectado a una red de 120 V de tensión. Su potencia útil es igual a 9,568 kW, el rendimiento a plena carga es de 0,8. El factor de potencia del motor es igual a 0,82. Determinar (en tantos por ciento) las pérdidas con marcha en vacío; se sabe que la corriente de la marcha en vacío es de un 30% de la corriente de plena carga, mientras que el factor de potencia del motor sin carga es de 0,2.

Solución. La potencia absorbida por el motor es

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{9568}{0,8} = 11\,960 \text{ W}.$$

La intensidad de corriente a plena carga

$$I = \frac{P_1}{\sqrt{3}\,U \cos \varphi} = \frac{11960}{1,73 \cdot 120 \cdot 0,82} = 70,2 \text{A}.$$

La intensidad de corriente con marcha en vacío $I_0 = 0,3\ I = 70,2 \cdot 0,3 = 21,06$ A.

La potencia absorbida por el motor a marcha en vacío es

$$P_0 = \sqrt{3}\,U I_0 \cos \varphi_0 = 1,73 \cdot 120 \cdot 21,06 \cdot 0,2 = 876 \text{ W},$$

lo que resulta un $\frac{P_0}{P_1} \cdot 100 = \frac{876}{11960} \cdot 100 = 7,33\%$.

493. El rotor de un motor asincrónico gira a la velocidad de 2880 r.p.m. Determinar el resbalamiento, si el campo magnético giratorio del motor hace 3 000 r.p.m.

494. Calcular el número de revoluciones de un motor asincrónico, si se sabe que el campo magnético giratorio realiza 750 r.p.m. y el resbalamiento es igual a un 5%.

495. Un motor eléctrico asincrónico de corriente alterna trifásica con cuatro pares de polos está conectado a una red de corriente alterna de 50 Hz de frecuencia. Calcular la velocidad del campo magnético giratorio en este motor.

496. La potencia en el eje de un motor asincrónico trifásico es igual a 2,8 kW. La velocidad del campo magnético giratorio es de 1 500 r.p.m. La velocidad de giro del rotor es de 1 420 r.p.m. El rendimiento del motor es igual a un 83,5%, mientras que el factor de potencia es igual a 0,85. La multiplicidad de la corriente de arranque es igual a 5,5. Determinar el número de pares de polos del motor, el resbalamiento del rotor, la potencia absorbida, las corrientes de línea, la corriente de arranque del motor en caso que los devanados del estator se conecten por el esquema en estrella y por el esquema en triángulo, si el motor está calculado para una red de 220/380 V de tensión y 50 Hz de frecuencia.

497. La capacidad nominal de un motor eléctrico asincrónico trifásico es igual a 40 kW, el rendimiento es igual a un 89% y el factor de potencia es de 0,81. Determinar la capacidad total absorbida por el motor.

XVII. MAQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA

La f.e.m. de un generador de corriente continua es

$$E = \frac{n}{60} \cdot \frac{p}{\alpha} N\Phi,$$

siendo $\frac{n}{60}$ el número de revoluciones por segundo del inducido;

p el número de pares de polos del estator;

α el número de pares de circuitos paralelos del devanado;

N el número total de conductores del devanado del inducido;

Φ el flujo magnético, en Wb.

La tensión en las bornas de un generador de excitación en paralelo es

$$U = E - I_{ind} r_{ind}.$$

La intensidad de corriente en el devanado del inducido es

$$I_{ind} = \frac{E - U}{r_{ind}}.$$

La intensidad de corriente en el devanado de excitación (arrollamiento de campo) es:

$$I_{ex} = \frac{U}{r_{ex} + r_{der}}.$$

La potencia útil del generador es

$$P = UI,$$

siendo $I = I_{ind} - I_{ex}$ las intensidades de corriente de la carga, en A;
r_{ind} la resistencia del devanado del inducido, en Ω;
r_{ex} la resistencia del devanado de excitación, en Ω;
r_{der} la resistencia del regulador en derivación, en Ω.

La tensión en las bornas de un motor eléctrico **en serie** es

$$U = E + I(r_{ind} + r_{ex}).$$

La potencia absorbida por el motor es:

$$P = UI.$$

La potencia en el eje del motor es:

$$P_{mec} = EI.$$

El rendimiento del motor $\eta = \frac{P_{mec}}{P}$,

siendo E la f.c.e.m., en V;
I la intensidad de corriente del motor, en A;
r_{ind} la resistencia del devanado del inducido, en Ω;
r_{ex} la resistencia del devanado de excitación, en Ω.

La tensión en las bornas del motor **en derivación** es

$$U = E + I_{ind} r_{ind}.$$

La resistencia de corriente en el devanado del inducido es:

$$I_{ind} = I - I_{ex}.$$

La potencia absorbida por el motor es:

$$P = UI$$

La potencia en el eje del motor es:

$$P_{mec} = EI_{ind}.$$

El rendimiento del motor $\eta = \frac{P_{mec}}{P}$.

Problemas

498. El inducido de un generador de corriente continua gira a una velocidad de 1 500 r.p.m. y su devanado tiene 250 conductores. Determinar la f.e.m. del generador, si se sabe que el número de pares de polos es igual a cuatro, el de pares de circuitos en paralelo del devanado es igual a dos y el flujo magnético es igual a 0,02 Wb.

499. La f.e.m. de un generador de excitación en derivación es igual a 100 V, la intensidad de corriente de carga es de 16 A, la resistencia del devanado del inducido es de 0,36 Ω y la intensidad de corriente en el devanado de excitación es 2,2 A. Determinar la tensión en las bornas de la máquina y la resistencia del devanado de excitación.

500. La resistencia de carga de un generador de excitación en derivación es de 2 Ω y la resistencia del devanado de excitación es de 40 Ω. La intensidad de corriente en el devanado del inducido es de 20 A. Determinar la intensidad de corriente en el devanado de excitación y en la carga.

501. La tensión en las bornas de un motor de excitación en serie es igual a 120 V. La resistencia del devanado del inducido en conjunto con la del devanado de excitación es de 1,5 Ω. Calcular la intensidad de corriente absorbida por el motor, si la f.c.e.m. del inducido es igual a 90 V.

502. Un motor de excitación en serie se alimenta con corriente de 15 A de intensidad y de 110 V de tensión a través de conductores de 0,3 Ω. La resistencia de los devanados del motor es de 0,5 Ω. Calcular la caída de tensión en las líneas principales, la caída de tensión en la máquina, la tensión en las bornas del motor y la f.c.e.m. del inducido.

503. Calcular la intensidad de corriente en el inducido de un motor eléctrico en derivación con 3 000 W de potencia, si la tensión en las bornas de la máquina es de 120 V, la resistencia del devanado de excitación es de 76 Ω y el rendimiento del motor es de 0,8.

504. Un motor eléctrico de 0,2 kW está conectado a una red de 60 V de tensión. Determinar el rendimiento del motor, si éste consume corriente de 4 A de intensidad.

505. Un generador de corriente continua produce una f.e.m. $E=130$ V, trabajando con una velocidad normal. La corriente de excitación que corresponde a esta f.e.m. es de 6,5 A. ¿Qué resistencia se debe conectar en el circuito del devanado de excitación para que la f.e.m. del generador sea igual a 120 V, si la corriente de excitación es igual a 4,8 A?

506. Un generador de corriente continua con autoexcitación produce una f.e.m. $E=60$ V. La resistencia del devanado del inducido es igual a 0,02 Ω. La corriente en el circuito del inducido de la máquina es de 25 A. Determinar la tensión del generador cuando la corriente en el circuito del inducido es igual a 25, 50 y 100 A. Construir la gráfica de la tensión del generador en función de la corriente en el circuito del inducido.

507. Un motor de corriente continua está conectado a una red de 600 V de tensión. La f.c.e.m. en el devanado del inducido es igual a 599 V. La resistencia del devanado del inducido es igual a 0,01 Ω. Determinar la potencia absorbida por el motor.

508. La corriente nominal de un motor conectado a una red de corriente continua de 125 V de tensión es igual a 25 A. La resistencia del devanado del inducido es de 0,02 Ω. Calcular la resistencia del circuito del inducido y la resistencia del reóstato de arranque, si consideramos que la corriente de arranque es dos veces mayor que la nominal.

509. La velocidad nominal de un motor en derivación de 2,8 kW de potencia es igual a 1000 r.p.m. El motor se conecta a una red de corriente continua de 220 V de tensión. La sección de los hilos del devanado del inducido $S=1{,}431$ mm^2 y el número de conductores en el reposo $N=6$. Determinar la cantidad de conductores en el reposo y la sección del alambre para arrollar el inducido, si el motor ha de trabajar a una velocidad de 1 500 r.p.m.

SEGUNDA PARTE

Fundamentos de Electrónica Industrial

XVIII. MOVIMIENTO DE LOS ELECTRONES EN LOS CAMPOS ELECTRICO Y MAGNETICO

La fuerza que actúa sobre un electrón en presencia de un campo eléctrico homogéneo se determina de la fórmula

$$F = eE,$$

siendo F la fuerza de acción del campo sobre el electrón, en N;
e la carga del electrón numéricamente igual a $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C;
E la intensidad del campo eléctrico, en V/m.

Es sabido que la intensidad del campo eléctrico es

$$E = \frac{U}{d},$$

siendo U la diferencia de potenciales, en V;
d la distancia entre dos placas cargadas, en m.

Colocando esta expresión de la intensidad del campo en la fórmula $F = eE$, obtenemos

$$F = \frac{eU}{d}.$$

La energía del electrón en presencia de un campo eléctrico con la ausencia (o con muy poca) de velocidad inicial, se calcula por la fórmula

$$W_{elec} = \frac{mv^2}{2},$$

siendo W la energía, en J;
m la masa del electrón igual a $9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg;
v la velocidad de movimiento del electrón sujeto a la acción del campo, en m/s.

La energía del campo eléctrico se calcula mediante la fórmula

$$W = eU,$$

siendo e la carga del electrón, en C;
U la diferencia de potenciales entre dos puntos del campo en V.

La velocidad de movimiento del electrón en un campo eléctrico se determina de acuerdo con la fórmula

$$v = 600 \sqrt{U} \text{ km/seg.}$$

El campo magnético provoca solamente la variación del sentido de movimiento del electrón, pero no modifica su velocidad ni su energía.

La fuerza F que actúa sobre un electrón que se mueve en un campo magnético homogéneo a una velocidad v, se determina de acuerdo con la fórmula

$$F = evB \operatorname{sen} \alpha,$$

siendo e la carga del electrón, en C;
v la velocidad de movimiento del electrón, en m/s;
B la inducción magnética, en T;
α el ángulo entre la dirección de las líneas magnéticas del campo y la dirección de movimiento del electrón, en grad.

Problemas

510. Calcular la fuerza con la que un campo eléctrico homogéneo actúa sobre un electrón cuando la intensidad de este campo $E = 20$ V/m.

511. Determinar la intensidad de un campo eléctrico homogéneo, si es sabido que actúa sobre un electrón con una fuerza $F = 19{,}2 \cdot 10^{-19}$ N.

512. ¿Con qué fuerza actúa un campo eléctrico homogéneo sobre una carga ubicada entre dos placas en paralelo, si la diferencia de potenciales entre éstas es de 6000 V y la distancia que las separa es igual a 0,06 m.

513. Entre dos electrodos planos y paralelos alimentados de una tensión de 200 V, se halla un electrón que se desplaza bajo la acción de un campo eléctrico con una fuerza $F = 32 \cdot 10^{-17}$ N. Determinar la distancia entre las placas.

514. Un campo eléctrico actúa sobre un electrón con una fuerza $F = 5 \cdot 10^{-16}$ N, la distancia entre los electrodos en paralelo es de 0,32 m. ¿Cuál es la tensión que entra a los electrodos?

Solución. De la fórmula $F = \frac{eU}{d}$ se deduce que la tensión es

$$U = \frac{Fd}{e}.$$

Sustituyendo las magnitudes que conocemos, tendremos: $U=\frac{5\cdot 10^{-16}\cdot 0{,}32}{1{,}6\times 10^{-19}}=1000$ V.

515. Bajo la acción de la fuerza de un campo eléctrico creado por la diferencia de potenciales $U=250$ V se desplaza un electrón. Determinar la energía del electrón en movimiento.

516. La energía de un electrón que se desplaza por un campo eléctrico es de $32\cdot 10^{-17}$ J. Determinar el valor de la tensión que comunica al electrón tal energía.

517. Se tiene un campo eléctrico generado por una tensión $U=100$ V. Determinar la velocidad con la que los electrones se aproximarán en vuelo a una placa cargada con electricidad positiva.

518. Calcular la velocidad de movimiento de los electrones en presencia de un campo eléctrico creado por una diferencia de potenciales $U=225$ V.

519. La velocidad de movimiento de los electrones en un campo eléctrico es igual a 3000 km/seg. Determinar el valor de la tensión que genera este campo.

520. La inducción magnética de un campo magnético homogéneo $B=0{,}8$ T. Determinar la fuerza con la que este campo magnético actúa sobre un electrón en movimiento, si este último se desplaza perpendicularmente a las líneas magnéticas con una velocidad $v=500$ m/seg.

521. Determinar la velocidad de un electrón que se mueve en un campo magnético de inducción magnética $B=0{,}48$ T, si el campo actúa sobre el electrón con una fuerza $F=153{,}6\cdot 10^{-19}$ N y sen $\alpha=0{,}5$.

522. La fuerza con la que actúa un campo magnético sobre un electrón que se desplaza por este campo con una velocidad de $v=2000$ m/seg es de $6{,}4\cdot 10^{-19}$ N. Calcular la inducción magnética del campo, si sen $\alpha=0{,}4$.

523. Por un campo magnético homogéneo en el que la intensidad $B=0{,}4$ T se desplaza un electrón con una velocidad de 8000 m/seg. El ángulo entre la dirección de movimiento del electrón y las líneas magnéticas es de 30°. Determinar la fuerza del campo magnético que desvía al electrón.

S o l u c i ó n. La fuerza que desvía al electrón, que se mueve por el campo magnético, $F=evB$ sen α.

Puesto que sen $30°=0{,}5$, entonces $F=1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 8\cdot 10^{3}\times$ $\times 0{,}4\cdot 0{,}5=256\cdot 10^{-18}$ N.

524. La inducción magnética de un campo magnético homogéneo $B=0{,}16$ T, la velocidad del electrón que se mueve por este campo es de 60 000 km/seg y la fuerza con la que el campo actúa $F=4{,}6\cdot10^{-12}$ N. Determinar el ángulo que forman las líneas magnéticas con la dirección de movimiento del electrón.

XIX. EMISION ELECTRONICA Y PROPIEDADES DEL CATODO

La potencia de una fuente de energía eléctrica consumida para encender un cátodo se determina de acuerdo con la fórmula

$$P_{enc} = I_{enc} \cdot U_{enc},$$

siendo P_{enc} la potencia de encendido del cátodo, en W;
I_{enc} la intensidad de encendido del cátodo, en A;
U_{enc} la tensión de encendido del cátodo, en V.

La emisión específica (poder emisivo específico) del cátodo es:

$$I_{esp} = \frac{I_{em}}{S},$$

siendo I_{esp} la emisión específica del cátodo, en mA/cm²;
I_{em} la corriente de emisión, en mA;
S el área de superficie calentada del cátodo, en cm².

De la fórmula dada se deduce que la corriente de emisión es

$$I_{em} = I_{esp} \cdot S.$$

La potencia específica de encendido del cátodo es

$$P_{esp} = \frac{P_{enc}}{S}, \quad \frac{W}{cm^2}.$$

El coeficiente de aprovechamiento del cátodo es

$$H = \frac{I_{esp}}{P_{esp}} \quad \text{ó} \quad H = \frac{I_{em}}{P_{enc}}.$$

Puesto que la potencia que se gasta en el encendido del cátodo es $P_{enc} = I_{enc} \cdot U_{enc}$, el coeficiente de aprovechamiento del cátodo también se puede calcular mediante la fórmula

$$H = \frac{I_{em}}{I_{enc} \cdot U_{enc}}.$$

Problemas

525. La emisión específica del cátodo es igual a 120 mA/cm². Determinar la intensidad de corriente de emisión, si el área de superficie del cátodo es igual a 0,12 cm².

526. En términos de los datos que a continuación se dan a conocer, construir la gráfica de la emisión electrónica de un tubo en función de la temperatura del cátodo:

$t°$	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600
I_{em}, mA	0,73	2,8	9,4	28,7	79,3	200	477

527. La corriente de encendido de un tubo electrónico es de 2 A. La tensión de encendido es igual a 6,3 V. Calcular la potencia consumida por la fuente de energía eléctrica para encender el cátodo.

528. La tensión de encendido del cátodo de un cinescopio o tubo de visión es igual a 6,3 V. La potencia de una fuente de energía eléctrica absorbida por el cátodo del

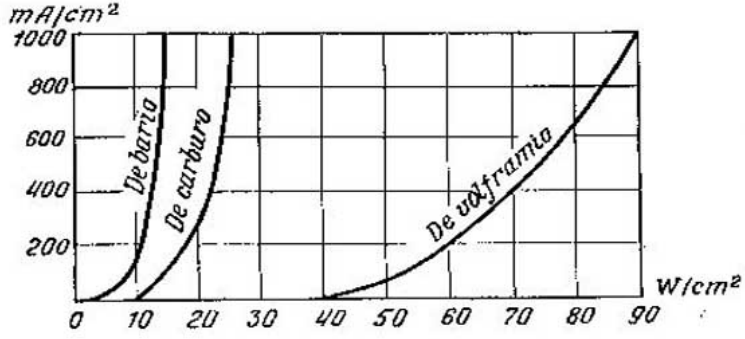


Fig. 47

tubo, es de 3,78 W. Determinar la corriente de encendido del cátodo.

529. En caso que la potencia absorbida por un cátodo sea de 6,76 W, la corriente de encendido será de 1,3 A. Determinar la tensión necesaria para encender el cátodo.

530. La intensidad de corriente de emisión de un cátodo es de 320 mA. La superficie del cátodo encendido es igual a 0,8 cm². Calcular la emisión específica del cátodo.

531. En términos de los datos que se dan a continuación, construir la gráfica de la corriente de emisión de un cátodo en función de la tensión en sus bornas:

I_{em}, mA	5,9	20,3	63	181	468	113,5
$U_{cát}$, V	8,9	10,3	11,9	13,5	15,2	17,1

532. Determinar de acuerdo con la gráfica de la fig. 47 la emisión específica de dos cátodos, si la potencia es-

pecífica del cátodo de carborundo es igual a 15 W/cm² y la del cátodo de volframio es 70 W/cm².

533. La intensidad de la corriente de emisión de un cátodo es igual a 100 mA. Calcular el área de superficie del cátodo, si su emisión específica es igual a 125 mA/cm².

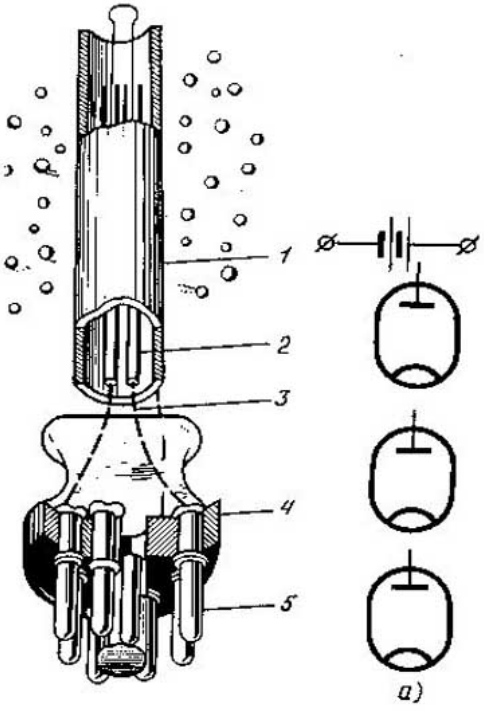


Fig. 48

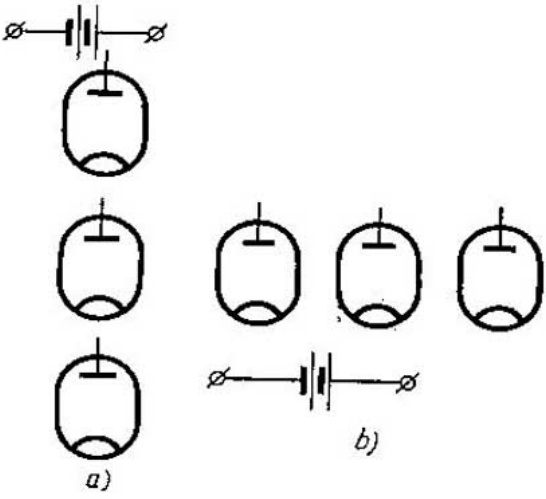


Fig. 49

534. La potencia de encendido de un cátodo es igual a 4,1 W y su área es de 0,8 cm². Determinar la potencia específica del cátodo.

535. La superficie de un cátodo es de 1,4 cm². Determinar la potencia que absorbe un cátodo desde una fuente de energía eléctrica, si la potencia específica es igual a 2,8 W/cm².

536. La emisión de un cátodo es igual a 150 mA. ¿Cuál será el coeficiente de aprovechamiento del cátodo, si la potencia que absorbe es de 3,4 W?

537. La potencia absorbida por un cátodo es igual a 9 W. Calcular la intensidad de la corriente de emisión

del cátodo, si el coeficiente de su aprovechamiento compone 50 mA/W.

538. La intensidad de la corriente de emisión de un tubo es igual a 120 mA. La intensidad de la corriente de encendido del cátodo $I_{enc}=10{,}3$ A. La tensión que se utiliza para encender el cátodo es de 16 V. Determinar el coeficiente de aprovechamiento del cátodo.

539. En términos de la gráfica de la fig. 47 determinar la potencia específica de encendido de los cátodos de bario, carborundo y de volframio, siendo la emisión específica de 400 mA/cm^2.

540. En la fig. 48 se muestra el diseño de un cátodo de encendido indirecto. ¿Cómo se llaman las partes del cátodo que se han designado con cifras?

541. Conectar los cátodos de los tubos (fig. 49): *a* — en serie y *b* — en paralelo.

542. Calcular la potencia que de una fuente de energía eléctrica absorbe un cátodo; si el coeficiente de aprovechamiento del cátodo es de 70 mA/W y la corriente de emisión es igual a 750 mA.

XX. TUBOS ELECTRONICOS

DIODO

La relación existente entre la corriente anódica de un tubo y la tensión aplicada al ánodo (a una tensión invariable de encendido) se conoce por característica anódica del diodo. La relación en cuestión puede expresarse en la forma siguiente:

$$I_{an} = f(U_{an}), \text{ para } U_{enc} = \text{const.}$$

Los parámetros fundamentales del diodo son: la pendiente de la característica anódica (S), la resistencia interna (r_i) y la potencia de disipación en el ánodo (P_{an}).

La pendiente de la característica anódica es

$$S = \frac{\Delta I_{an}}{\Delta U_{an}},$$

siendo S la pendiente de la curva característica, en mA/V;
ΔI_{an} la variación de la corriente anódica, en mA;
ΔU_{an} la variación de la tensión anódica, en V.

La resistencia interna del diodo es

$$r_i = \frac{\Delta U_{an}}{\Delta I_{an}} \text{ ó } r_i = \frac{1}{S},$$

siendo r_i la resistencia interior, en kΩ.

La disipación anódica de un tubo es

$$P_{an} = I_{an} U_{an},$$

siendo P_{an} la disipación anódica, en W;
I_{an} la intensidad de corriente anódica, en A;
U_{an} la tensión anódica, en V.

Problemas

543. Utilizando los elementos de la fig. 50 diseñar el esquema de conexiones de un diodo: *a* — de caldeo directo y *b* — de cátodo de caldeo indirecto.

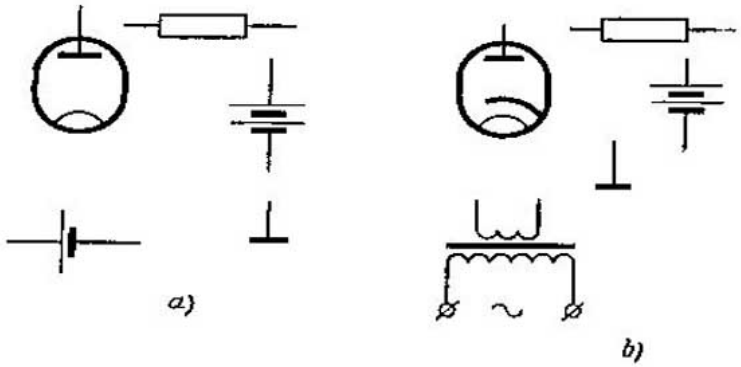


Fig. 50

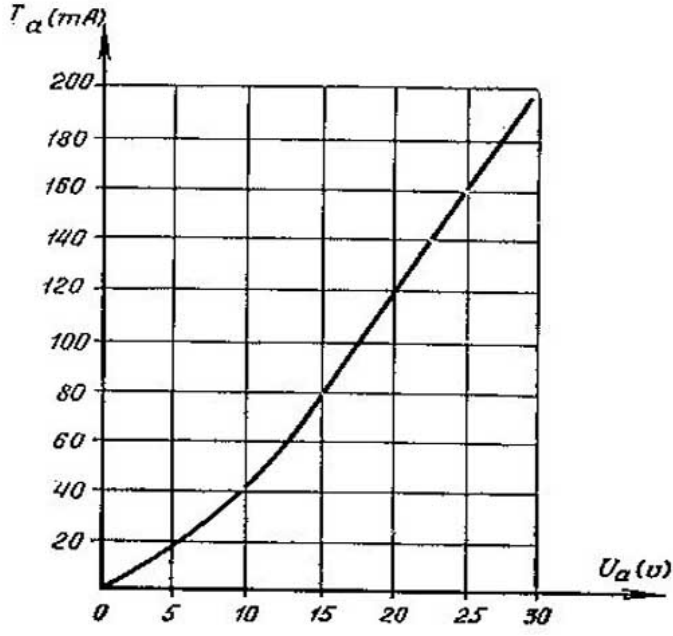


Fig. 51

544. Utilizando la característica de placa del diodo (fig. 51), determinar la intensidad de corriente anódica de un tubo, siendo la tensión anódica $U_{an}=10$ V y $U_{an}=25$ V.

545. Utilizando la gráfica de la fig. 51, determinar la tensión anódica a la que la intensidad de la corriente anódica de un tubo será igual a 80 mA y 140 mA.

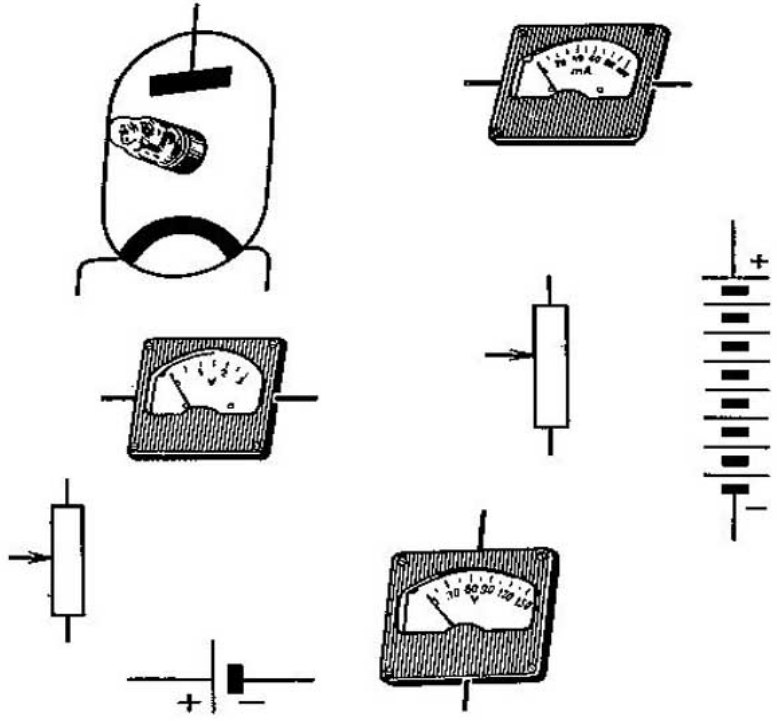


Fig. 52

546. Utilizando los elementos de la fig. 52, diseñar un esquema para obtener la característica de placa de un diodo.

547. Utilizando la característica de placa de un diodo (fig. 53), determinar la pendiente de esta característica.

S o l u c i ó n. En el punto *1* tenemos que la tensión anódica $U_{an_1}=60$ V y la intensidad de la corriente anódica que corresponde a esta tensión $I_{an_1}=90$ mA. En el punto *2*, la tensión anódica aumentó hasta $U_{an_2}=75$ V.

En este caso, la intensidad de la corriente anódica se elevó hasta $I_{an_2}=120$ mA. Por consiguiente, la pendiente de la curva característica es $S=\frac{\Delta I_{an}}{\Delta U_{an}}=\frac{I_{an_2}-I_{an_1}}{U_{an_2}-U_{an_1}}=$

$$=\frac{120-90}{75-60}=\frac{30}{15}=2 \text{ mA/V}.$$

548. Determinar la pendiente de la curva característica de un tubo en su sección rectilínea, si al elevar en

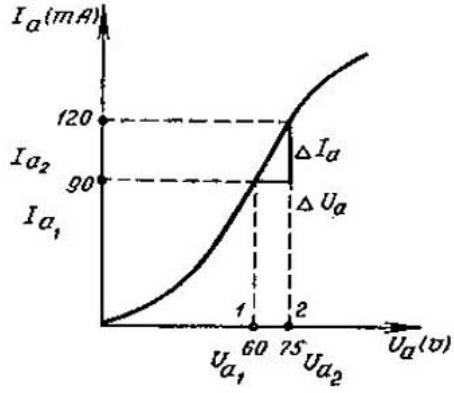


Fig. 53

2 V la tensión anódica, crece en 6 mA la intensidad de la corriente anódica.

549. ¿En qué valor varía la intensidad de la corriente anódica de un diodo, si la tensión en el ánodo aumenta 4 V y la pendiente de la curva característica del diodo $S=4{,}5$ mA/V?

550. La pendiente de un diodo compone 16 mA/V. Calcular el valor de ΔU_{an}, si la intensidad de la corriente anódica varió en 64 mA.

551. Determinar la resistencia interior de un diodo a una corriente alterna, si $\Delta I_{an}=32$ mA y $\Delta U_{an}=8$ V.

552. Determinar la pendiente de un diodo, si su resistencia interna a la corriente alterna $r_i=0{,}2$ kΩ.

553. Al variar la tensión anódica en 6 V, la resistencia interna de un diodo a la corriente alterna era igual a 0,12 kΩ. Determinar la intensidad de la corriente anódica en el circuito del tubo.

554. ¿En cuántos voltios se había modificado el valor de la tensión anódica al aumentar 80 mA la intensidad

de la corriente anódica, mientras que la resistencia interior del diodo $r_i = 2\,400\ \Omega$?

555. La tensión alimentada al ánodo de un tubo es igual a 50 V, en tanto que la corriente anódica es de 0,125 A. Calcular la disipación anódica.

556. La intensidad de corriente anódica de un tubo es igual a 7,5 mA y la disipación anódica $P_{an} = 18{,}85$ W. Determinar la tensión anódica del tubo.

557. La tensión anódica de un tubo es de 325 V y la disipación anódica $P_{an} = 22{,}75$ W. Determinar la intensidad de la corriente anódica en el tubo.

Triodo

La relación funcional entre la corriente anódica de un triodo y las variaciones de la tensión en la rejilla de mando a tensión constante de la placa se llama característica de rejilla-placa y se expresa de la manera siguiente:

$$I_{an} = f(U_{rej}), \quad \text{para } U_{an} = \text{const.}$$

Los parámetros del triodo son los siguientes: la pendiente (S), la resistencia interna del triodo a la corriente alterna (r_i) y el factor de amplificación del tubo (μ).

La pendiente del triodo cuando el valor de la tensión anódica es constante se expresa así:

$$S = \frac{\Delta I_{an}}{\Delta U_{rej}},$$

siendo S la pendiente, en mA/V;
ΔI_{an} la variación en la intensidad de corriente anódica, en mA;
ΔI_{rej} la variación en la tensión de la rejilla del triodo, en V.

La resistencia interna de un triodo de corriente alterna es

$$r_i = \frac{\Delta U_{an}}{\Delta I_{an}}, \quad \text{para } U_{rej} = \text{const},$$

siendo r_i la resistencia interna del triodo, en kΩ;
ΔU_{an} la variación de tensión del ánodo, en V;
ΔI_{an} la variación de intensidad de la corriente anódica, en mA.

El factor de amplificación de un triodo cuando la intensidad de la corriente anódica es continua se expresa

$$\mu = \frac{\Delta U_{an}}{\Delta U_{rej}}.$$

La permeabilidad de un triodo es la magnitud inversa del factor de amplificación

$$D = \frac{1}{\mu}.$$

La pendiente de un triodo, su resistencia interna y factor de amplificación se pueden determinar en términos de las características del triodo:

$$S = \frac{\mu}{r_i}; \qquad \mu = Sr_i;$$

$$r_i = \frac{\mu}{S}.$$

Problemas

558. Utilizando los elementos de la fig. 54, proyectar el circuito de conexión de un triodo: *a* — de caldeo directo y *b* — de cátodo de caldeo indirecto.

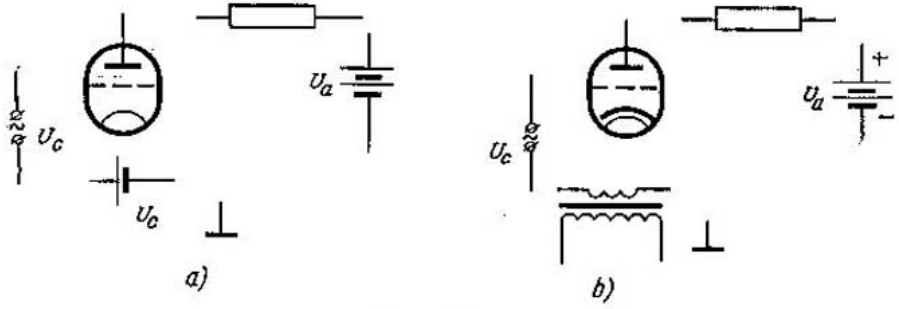


Fig. 54

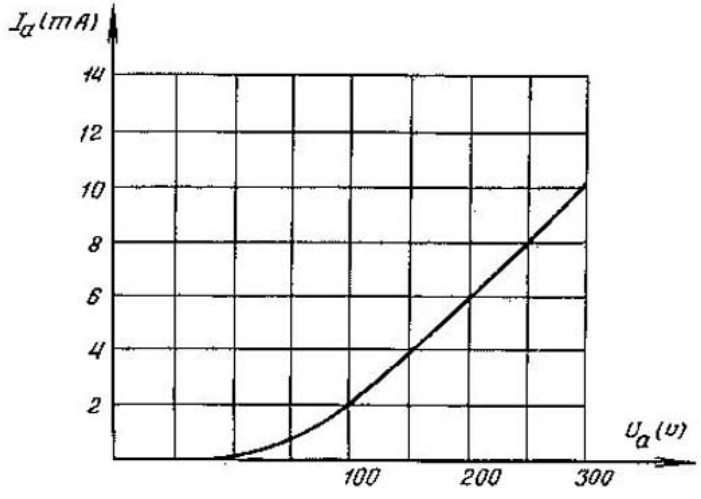


Fig. 55

559. Utilizando la característica anódica de un triodo (fig. 55), determinar la intensidad de corriente anódica cuando la tensión en el ánodo es de: 150, 250 y 300 V. En función de la misma característica determinar: la tensión anódica a la que la intensidad de la corriente anódica de un tubo será igual a 3, 7 y 9 mA.

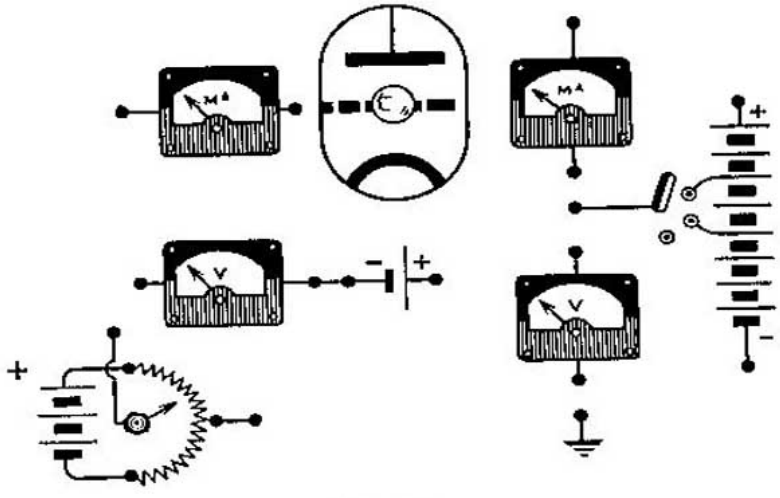


Fig. 56

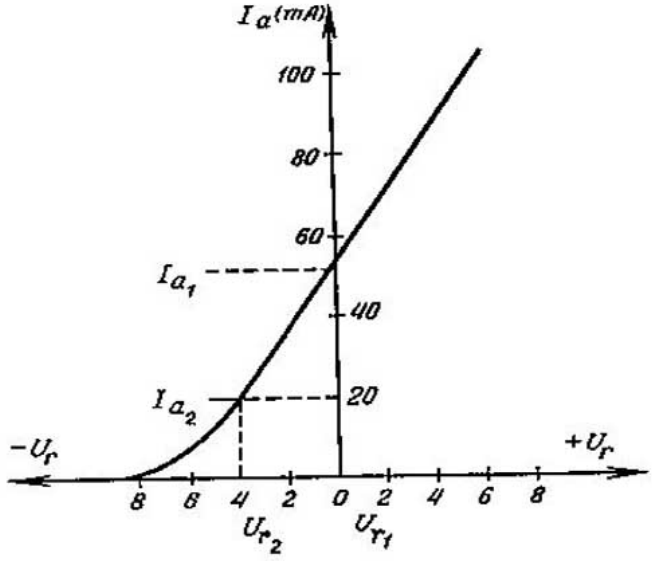


Fig. 57

560. Proyectar un circuito que permita obtener las características de un triodo. Al efecto hágase uso de los elementos de la fig. 56.

561. En términos de la característica de rejilla del triodo (fig. 57) determinar la pendiente de esta curva característica.

Solución. Si cambiamos el valor de la tensión de rejilla de $U_{rej_1}=0$ a $U_{rej_2}=-4$ V, el valor de la intensidad de la corriente anódica varía de $I_{an_1}=50$ mA a $I_{an_2}=20$ mA. Por consiguiente, la pendiente de la curva característica del triodo es

$$S=\frac{\Delta I_{an}}{\Delta U_{rej}}=\frac{I_{an_2}-I_{an_1}}{U_{rej_2}-U_{rej_1}}=\frac{50-20}{4}=7{,}5\text{mA/V}.$$

562. Determinar la pendiente de la curva característica de la rejilla de un triodo, si una variación de 2 V en la tensión de rejilla provocó el cambio en 7,5 mA del valor de la intensidad de la corriente anódica.

563. La pendiente de un triodo es de 4 mA/V. Calcular la resistencia interior de un triodo a la corriente alterna, si $\mu=40$.

564. La tensión anódica se elevó de 200 a 224 V, cosa que resultó en que, en este caso, la intensidad de la corriente anódica del triodo descendió 12 mA. Calcular la resistencia interna de un tubo de corriente alterna.

565. Para hacer variar en 8 mA la intensidad de una corriente anódica, es necesario hacer variar en 40 V la tensión anódica o en 2,5 V la tensión de rejilla. Calcular el factor de amplificación del triodo.

566. La resistencia interna de un triodo a la corriente alterna es igual a 1,66 kΩ y la pendiente $S=7{,}2$ mA/V. Determinar el factor de amplificación del triodo.

567. La pendiente de un triodo es igual a 3,2 mA/V. ¿En cuántos miliamperios aumenta la intensidad de corriente anódica de un tubo, si la tensión de rejilla del tubo aumenta 4 V?

568. Determinar la tensión en el ánodo de un triodo, si la tensión de batería U_{bat} que alimenta el circuito del ánodo es de 250 V, la resistencia r_{an} conectada al circuito de ánodo es igual a 1000 Ω y la intensidad de corriente anódica $I_{an}=20$ mA.

Solución. La tensión en el ánodo de un tubo $U_{an}=U_{bat}-I_{an}r_{an}$,

$$U_{an}=250-(0{,}020\cdot 1\,000)=230\text{V}.$$

569. En términos de la característica de la relación funcional entre la corriente de rejilla de un triodo y la tensión de rejilla (fig. 58), determinar la intensidad de corriente si la tensión en la rejilla $U_{rej}=2$ V y $U_{rej}=-5$ V.

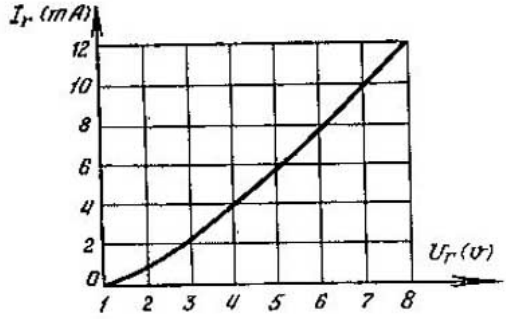


Fig. 58

570. Determinar los parámetros S, μ y r_i de un triodo en términos de la familia de curvas características de la fig. 59 en el punto de trabajo O, cuando la tensión anódica $U_{an}=86$ V y la tensión de rejilla $U_{rej}=-5$ V.

Solución. Determinemos la pendiente de la curva característica. Al efecto, hacemos pasar por el punto O de la curva que hemos elegido dos rectas, una vertical y otra horizontal, hasta que se corten con las otras dos curvas. El segmento OA del triángulo AOC corresponde a la variación de la corriente anódica $\Delta I_{an_1}=65-40=25$ mA.

El cambio de tensión anódica $\Delta U_{rej}=0-(-5)=5$ V. De manera que la pendiente es

$$S_1=\frac{\Delta I_{an_1}}{\Delta U_{rej}}=\frac{25}{5}=5\text{ mA/V}.$$

El segmento OT del triángulo LOT también corresponde al cambio de corriente anódica $\Delta I_{an_2}=40-22=18$ mA, en tanto que el cambio de la tensión de rejilla $\Delta U_{rej}=-5-(-10)=5$ V.

De este modo, en términos del segundo triángulo se deduce que la pendiente $S_2 = \frac{\Delta I_{an_2}}{\Delta U_{rej}} = \frac{18}{5} = 3{,}6$ mA/V. El valor medio de la pendiente es

$$S = \frac{S_1 + S_2}{2} = \frac{5 + 3{,}6}{2} = 4{,}3 \text{ mA/V}.$$

El cateto OC del triángulo AOC corresponde al cambio de tensión anódica $\Delta U_{an_1} = 86 - 60 = 26$ V. La disminución

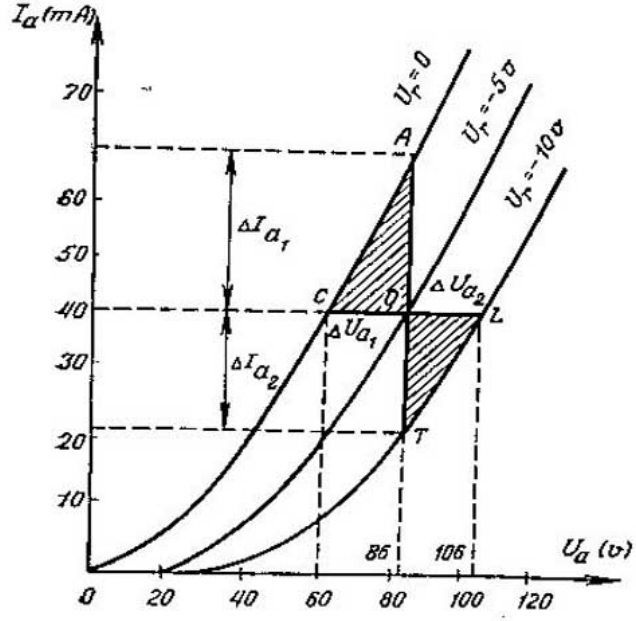


Fig. 59

en 26 V de la tensión anódica influye en la corriente anódica del mismo modo que el cambio en 5 V de la tensión de rejilla. Por consiguiente, el factor de amplificación del triodo $\mu_1 = \frac{\Delta U_{an_1}}{\Delta U_{rej}} = \frac{26}{5} = 5{,}2$.

El cateto OL del triángulo LOT también corresponde al cambio de la tensión anódica $\Delta U_{an_2} = 106 - 86 = 20$ V. De aquí se deduce que el factor de amplificación $\mu_2 = \frac{\Delta U_{an_2}}{\Delta U_{rej}} = \frac{20}{5} = 4$. El valor medio del factor de amplifi-

cación es

$$\mu = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} = \frac{5,2 + 4}{2} = \frac{9,2}{2} = 4,6.$$

La resistencia interna del triodo a la corriente alterna es

$$r_i = \frac{\mu}{S} = \frac{4,6}{5,3} = 0,87 \text{ k}\Omega.$$

571. Proyectar un circuito de conexión de un tetrodo, utilizando los elementos de la fig. 60.

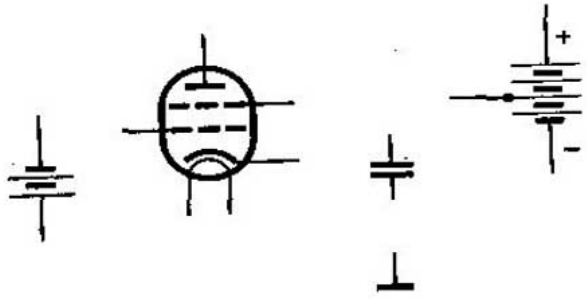


Fig. 60

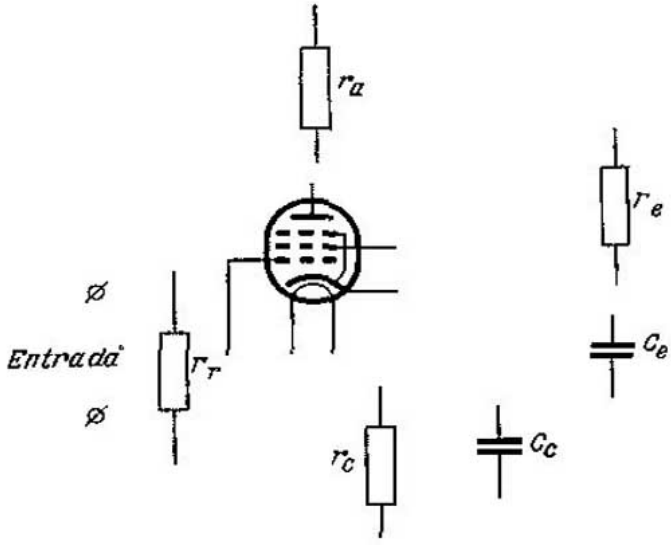


Fig. 61

572. Proyectar un circuito de conexión de un pentodo, utilizando al efecto los elementos de la fig. 61.

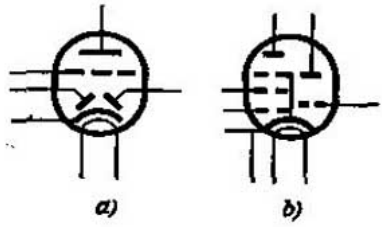


Fig. 62

573. De acuerdo con las designaciones convencionales (fig. 62) determinar el tipo de los tubos múltiples.

XXI. APARATOS IONICOS

La relación funcional entre la intensidad de corriente anódica en un aparato iónico y la tensión de ánodo se determina por la característica voltio-amperio y se expresa así:

$$I_{an} = f(U_{an}).$$

La tensión que entra al circuito de un aparato dado, al cual está acoplada en serie una resistencia limitadora, se determina de acuerdo con la fórmula

$$U = U_{an} + U_{lim} = U_{an} + I_{an} r_{lim},$$

siendo U_{an} la tensión en el aparato iónico, en V;
U_{lim} la tensión en la resistencia limitadora, en V;
I_{an} la intensidad de corriente, en A;
r_{lim} la resistencia limitadora, en Ω.

La tensión anódica de encendido de un tiratrón depende de la tensión en su rejilla:

$$U_{an_{enc}} = f(U_{rej}).$$

Si la tensión de la fuente de alimentación de un tubo estabilizador (válvula estabilizadora de tensión) varía a ambos lados del valor medio, entonces la magnitud de la resistencia limitadora es

$$r_{lim} = \frac{U_{med} - U_{est}}{I_{med} + I_{car}},$$

siendo $U_{med} = \frac{U_{min} + U_{máx}}{2}$ el valor medio de la tensión suministrada al tubo estabilizador, en V;

U_{est} la tensión de estabilización del tubo estabilizador, en V;

$I_{med} = \frac{I_{mín} + I_{máx}}{2}$ la intensidad media de corriente del tubo estabilizador, en A;

$I_{car} = \frac{U_{est}}{r_{car}}$ la intensidad de corriente de la carga del tubo estabilizador, en A.

La tensión en los tubos estabilizadores acoplados en serie que tienen la misma tensión de encendido se distribuye en partes iguales:

$$U_1 = U_2 = \cdots U_n \text{ ó } U_{red} = U_1 + U_2 + \cdots + U_n.$$

La tensión de la fuente de alimentación U, suficiente para encender los tubos estabilizadores acoplados en serie, cuando existen resistencias de arranque, se determina por la fórmula

$$U = U_{enc} = (n - 1) U_{est},$$

siendo n el número de tubos estabilizadores acoplados en serie.

Para reducir los valores de la tensión estabilizada puede ser absorbida una parte de la tensión por la resistencia

$$r = \frac{U_{est} - U}{I_{car}},$$

siendo r la resistencia, en Ω;
U_{est} la tensión de estabilización, en V;
U la tensión estabilizada necesaria, en V;
I_{car} la intensidad de corriente de la carga, en A.

El factor de estabilización de un tubo estabilizador, que caracteriza la efectividad de estabilización, se determina por la fórmula

$$k_{est} = \frac{\Delta U}{U} : \frac{\Delta U_{est}}{U_{est}},$$

siendo ΔU la variación de tensión de la red, en V;
U la tensión de la red, en V;
ΔU_{est} la variación de la tensión de estabilización, en V;
U_{est} la tensión de estabilización del tubo estabilizador, en V.

La resistencia interior mínima de un tubo estabilizador a la corriente alterna es

$$r_{mín} = \frac{U_{est}}{I_{máx}}.$$

La resistencia interior máxima de un tubo estabilizador a la corriente alterna es

$$r_{máx} = \frac{U_{est}}{I_{mín}}.$$

La resistencia interior de un tubo estabilizador a la corriente alterna es

$$r_i = \frac{\Delta U_{est}}{\Delta I}.$$

574. Utilizando los elementos de la fig. 63 proyectar un circuito que permita obtener la característica de voltios — amperios de un aparato de descarga con efluvio. Esta característica nos indicará la relación funcional

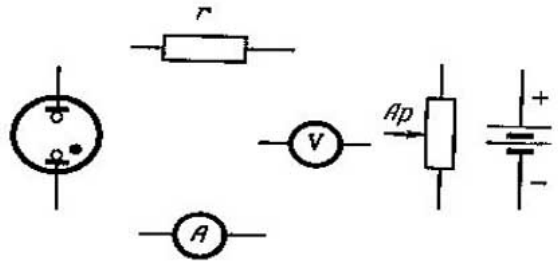


Fig. 63

entre la corriente en el aparato y el valor de la tensión que se le aplica.

575. En la fig. 64 se da la característica de voltios — amperios de un aparato de descarga con efluvio. ¿Cómo

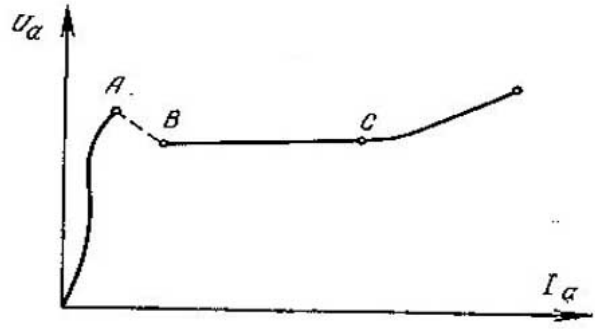


Fig. 64

se llama el punto A de la característica, a qué proceso en el aparato corresponde la sección AB de esta característica, a qué tensión corresponde el punto B de la gráfica? ¿Cómo se llama el régimen de trabajo del aparato en la sección BC de la característica?

576. Trazar la característica de una válvula rectificadora de gas basándose en los datos siguientes:

Corriente del ánodo, en A	0,1	0,12	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
Tensión anódica, en V	0	9	7	6,4	6,6	6,8	7	7,2	7,4

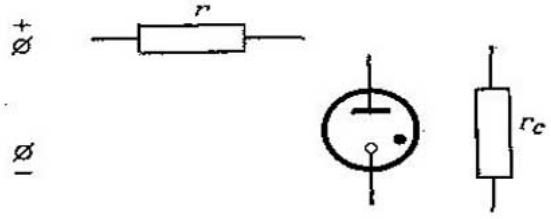


Fig. 65

Determinar la tensión de encendido de la válvula.

577. Proyectar un circuito de conexiones de un tubo estabilizador, utilizando los elementos de la fig. 65.

578. Valiéndose de los elementos de la fig. 66 proyéctese un circuito de acoplamiento en serie de tubos estabili-

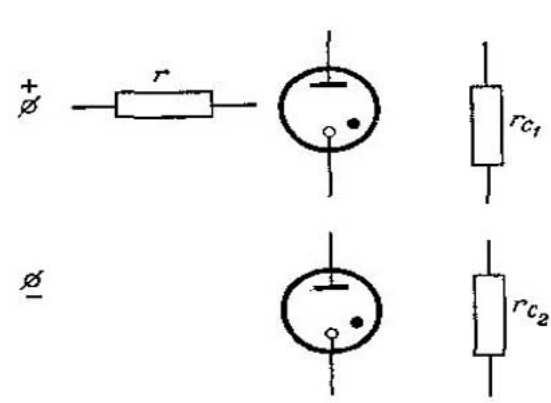


Fig. 66

zadores, tal que dé la posibilidad de obtener varias tensiones estabilizadas y permita conectar las resistencias de carga r_{car_1} y r_{car_2} a distinta tensión.

579. Tres tubos estabilizadores están acoplados en serie. La tensión de estabilización de cada tubo es igual a 75 V y la tensión de encendido es igual a 100 V. De-

terminar la tensión necesaria para encender los tres tubos estabilizadores.

580. La tensión de estabilización de un tubo estabilizador es de 75 V. Determinar las tensiones estables que se pueden obtener de tres tubos estabilizadores acoplados en serie.

581. Para alimentar una instalación se necesita una tensión estabilizada $U=120$ V cuando la intensidad de corriente es de 10 mA. Determinar la magnitud de la resistencia limitadora, si para estabilizar la tensión se utiliza un tubo estabilizador en el que $U_{est}=150$ V.

Solución. La resistencia limitadora es

$$r_{lim}=\frac{U_{est}-U}{I_{car}}=\frac{150-120}{0{,}01}=\frac{30}{0{,}01}=3\,000\Omega, \text{ ó } 3\,k\Omega.$$

582. La tensión de la fuente de energía de un tubo estabilizador varía entre los límites desde 100 hasta 124 V. Calcular la variación relativa de tensión de esta fuente.

583. La tensión de estabilización de un tubo estabilizador es de 140 V y el cambio de la tensión estabilizada ΔU_{est} es de 4 V. Calcular el cambio relativo de la tensión del tubo estabilizador.

584. En términos de los datos de los problemas 582 y 583 calcular el factor de estabilización de la tensión.

585. Para alimentar unos aparatos se necesita una tensión estable $U_{est}=150$ V, siendo la intensidad de corriente en el circuito de carga de 12,5 mA. La tensión del circuito que alimenta el estabilizador varía entre 200 y 230 V. Determinar la variación media de la corriente, si en el caso del tubo estabilizador empleado $I_{min}=5$ mA y $I_{max}=30$ mA. Calcular también la magnitud de la resistencia limitadora que se requiera.

Solución. La tensión media del circuito es

$$U_{med}=\frac{U_{min}+U_{max}}{2}=\frac{200+230}{2}=215\,V.$$

La intensidad media de corriente del tubo estabilizador es

$$I_{med}=\frac{I_{min}+I_{max}}{2}=\frac{5+30}{2}=17{,}5\,mA.$$

La resistencia limitadora es

$$r_{lim} = \frac{U_{med} - U_{est}}{I_{med} + I_{car}} = \frac{215 - 150}{17{,}5 + 12{,}5} = \frac{65}{30} = 2{,}16\ k\Omega.$$

586. La tensión de estabilización de un tubo estabilizador es de 152,5 V en el caso de corriente de $I = 30$ mA; es de 150 V en el de una corriente de $I = 5$ mA. La variación en la tensión de estabilización en el caso de estas corrientes es igual a 4 V. Calcular las resistencias máxima y mínima de este tubo.

Solución. La resistencia máxima del tubo estabilizador a la corriente continua es

$$r_{min} = \frac{U_{est}}{I_{max}} = \frac{152{,}5}{0{,}030} = 5083\Omega.$$

La resistencia máxima del tubo estabilizador a la corriente continua es

$$r_{max} = \frac{U_{est}}{I_{min}} = \frac{152{,}5}{0{,}005} = 30\,500\Omega.$$

587. La tensión de estabilización de un tubo estabilizador es igual a 152,5 V. A una intensidad de corriente entre 5 y 30 mA la variación de tensión de estabilización es de 4 V. Determinar la resistencia interior de este tubo a la corriente alterna.

588. La tensión de una fuente de energía eléctrica que alimenta un tubo estabilizador, varía entre 250 y 350 V. Determinar el valor medio de la tensión de esta fuente.

589. Por un tubo estabilizador fluye corriente de 5 a 30 mA. Calcular el valor medio de la corriente.

590. El valor medio de la tensión de una fuente de energía eléctrica es igual a 150 V, en tanto que el valor medio de la corriente que circula por un tubo estabilizador es de 17,5 mA. El valor de la tensión estable que se requiere para alimentar los aparatos es igual a 100 V. Determinar la magnitud de la resistencia limitadora.

591. La tensión para el encendido de cada uno de los tres tubos estabilizadores acoplados en serie es igual a 180 V y la tensión de estabilización $U_{est} = 152$ V. Determinar el valor de la tensión de una fuente de energía eléctrica que resulte suficiente para encender los tubos conectados en caso que haya resistencias de arranque.

592. Para el funcionamiento de una instalación es necesario disponer de una tensión estable de 120 V y una corriente de 30 mA. Utilizando un tubo estabilizador que nos dé $U_{est}=150$ V; determinar la magnitud de la resistencia limitadora.

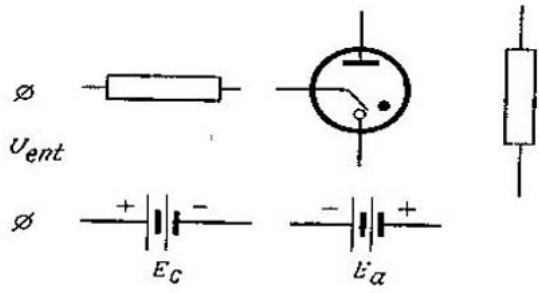


Fig. 67

593. Proyectar un circuito de conexiones de un tiratrón de efluvio (de descarga luminiscente) de cátodo frío, utilizando al efecto los elementos de la fig. 67.

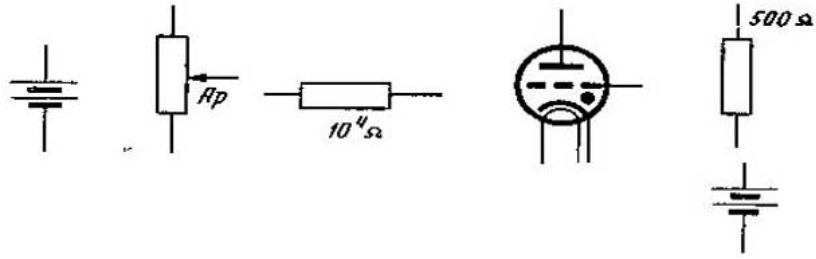
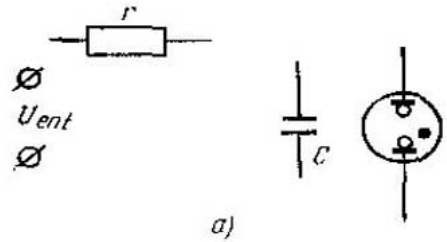


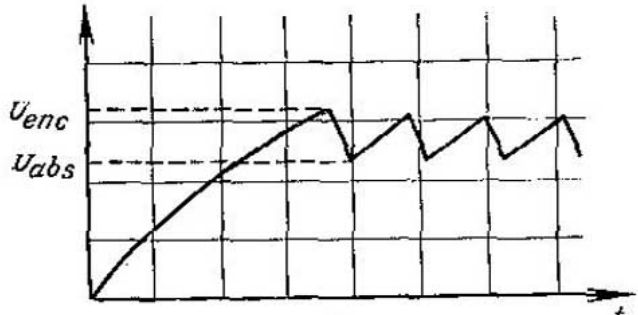
Fig. 68

594. Proyectar un circuito para obtener las características de un tiratrón, valiéndose de los elementos de la fig. 68.

595. Utilizando los elementos de la fig. 69, *a*, proyectar el circuito de un generador con lámpara de gas neón. La forma de la tensión que produce este generador se da en la fig. 69, *b*.



a)



b)

Fig. 69

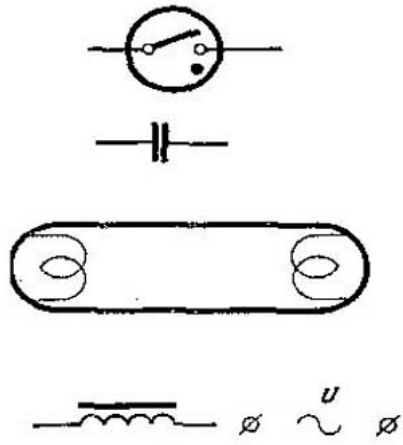


Fig. 70

596. Proyectar el circuito de conexiones de un tubo de descarga luminiscente, utilizando los elementos de la fig. 70 y denominar las piezas que forman parte de este circuito.

XXII. DIODOS SEMICONDUCTORES

La resistencia de un diodo semiconductor a la corriente continua en sentido conductor (dirección directa), se determina por la fórmula

$$r_{dir} = \frac{U_{dir}}{I_{dir}},$$

siendo U_{dir} la tensión de diodo en dirección directa, en V;
I_{dir} la intensidad de corriente en el diodo en dirección directa, en A.

La resistencia de un diodo semiconductor a la corriente continua de retorno (sentido inverso o no conductor) se determina de acuerdo con la fórmula

$$r_{inv} = \frac{U_{inv}}{I_{inv}},$$

siendo U_{inv} la tensión de diodo en retorno, en V;
I_{inv} la intensidad de corriente en el diodo en dirección inversa, en A.

La intensidad de las pérdidas por caldeo se calcula de acuerdo con la fórmula

$$P_{per} = I_{dir} U_{dir},$$

siendo P_{per} la intensidad de las pérdidas, en W;
I_{dir} la intensidad de corriente en dirección directa, en A;
U_{dir} la tensión en dirección directa, en V.

La resistencia interior de un diodo a la corriente alterna en dirección directa es

$$r_i = \frac{2P}{\pi^2 I_{rect}^2},$$

siendo P la potencia de corriente alterna suministrada al diodo, en W;
I_{rect} la intensidad de corriente rectificada, en A.

La sensibilidad del diodo a la corriente se encuentra determinada por la relación de la intensidad de corriente rectificada por el diodo a la potencia suministrada

$$A = \frac{I_{rect}}{P},$$

siendo A la sensibilidad del diodo a la corriente, en A/W.

El coeficiente de rectificación de un diodo semiconductor se determina así:

$$k_{rect} = \frac{I_{dir}}{I_{inv}},$$

siendo I_{dir} la intensidad de corriente en dirección directa, en A;
I_{inv} la intensidad de corriente en dirección inversa, en A.

597. Proyectar un circuito que permita obtener la característica directa de voltios-amperios de un diodo, valiéndose al efecto de los elementos de la fig. 71.

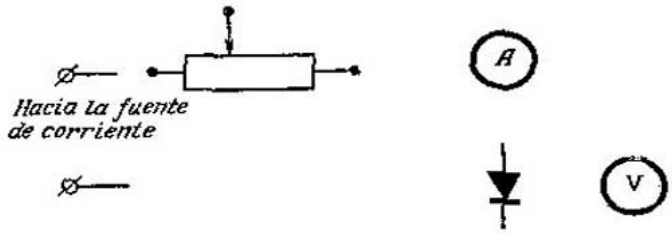


Fig. 71

598. Construir las características de voltios-amperios de unos diodos de selenio tipo ABC y TBC según los datos

U_{dir}, en V	0,2	0,4	0,6	0,7
I_{dir}, en mA/cm²	0	15	53	70

(para el tipo ABC)

U_{dir}, en V	0,2	0,4	0,6	0,7	0,8
I_{dir}, en mA/cm²	0	15	38	50	62

(para el tipo TBC)

599. De acuerdo con las características antes construidas (véase el problema 598) determinar la densidad de corriente de los dos tipos de diodos de selenio a una tensión directa $U_{dir}=0{,}5$ V.

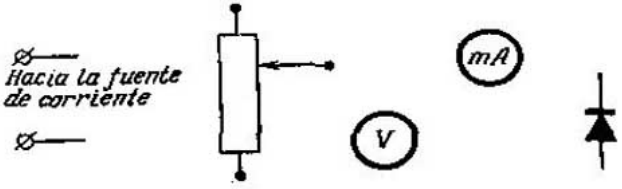


Fig. 72

600. Proyectar un circuito para medir la intensidad de corriente inversa de unos diodos de selenio, utilizando al efecto los elementos de la fig. 72.

601. La tensión en las bornas de un diodo semiconductor en dirección directa es igual a 0,6 V; en este caso, la intensidad de corriente es igual a 50 mA. Calcular la resistencia del diodo a la corriente alterna.

602. Si la tensión directa $U_{dir}=0{,}9$ V, la intensidad de corriente es de 300 mA. ¿Cuál será el valor de la resistencia que opondrá en esta dirección el diodo al paso de una corriente continua?

603. La resistencia de un diodo a la corriente alterna en dirección directa es igual a 5 Ω y la tensión es de 0,3 V. Determinar la intensidad de corriente en el circuito del diodo.

604. La tensión inversa en las bornas de un diodo es igual a 50 V; en este caso, la intensidad de corriente es de 2 mA. Calcular la resistencia del diodo a la corriente alterna en la dirección de retorno.

605. La intensidad de corriente inversa en un diodo es de 1 mA y su resistencia a la corriente continua es igual 150 kΩ. Determinar la tensión del diodo en la dirección de retorno a la que posee esta resistencia.

606. La intensidad de corriente directa de un diodo semiconductor es igual a 100 mA, siendo la tensión de 0,3 V. Determinar la pérdida de potencia por caldeo del diodo.

607. Un diodo está calculado para una intensidad de corriente de 100 mA y una tensión directa de 1 V. Determinar la resistencia del diodo a la corriente continua.

608. Calcular la intensidad de las pérdidas al calentar un diodo semiconductor, si la intensidad de corriente en dirección directa es igual a 10 A y la caída de tensión en esta dirección es de 0,3 V.

609. A un diodo semiconductor se le alimenta una corriente alterna de 1,5 W de potencia, en este caso, la intensidad de corriente rectificada en el circuito del diodo es igual a 5 A. Determinar la resistencia interior del diodo a la corriente alterna en dirección directa.

S o l u c i ó n. La resistencia interior del diodo a la corriente alterna es

$$r_i = \frac{2P}{\pi^2 I^2_{rect}} = \frac{2 \cdot 1{,}5}{3{,}14^2 \cdot 5^2} \approx 0{,}012\Omega.$$

610. Calcular la sensibilidad de un diodo semiconductor a la corriente, si la intensidad de corriente que recti-

fica es igual a 2,7 V y la potencia de corriente alterna suministrada al diodo es de 0,9 W.

611. La sensibilidad de un diodo semiconductor a la corriente compone 2,5 A/W y la potencia de la corriente alterna que se alimenta es igual a 10 W. Determinar la intensidad de corriente rectificada.

612. La intensidad de corriente directa de un diodo semiconductor es de 4 A y la de inversa es igual a 1 mA. Determinar el coeficiente de rectificación del diodo.

613. La resistencia de un diodo en la dirección de retorno es igual a 25 kΩ y en dirección directa es de 2,5 Ω. Determinar el coeficiente de rectificación del diodo.

614. La intensidad de corriente que fluye por un diodo semiconductor en la dirección de retorno es de 0,0025 mA, en tanto que en la dirección directa es igual a 6 mA. Determinar el coeficiente de rectificación del diodo.

XXIII. TRIODOS SEMICONDUCTORES

Los triodos semiconductores se suelen conectar en tres circuitos: con base común (a tierra), con emisor común y con colector común.

La ganancia de corriente de un triodo se determina por la relación entre la intensidad de corriente del circuito de salida del triodo y la intensidad de corriente del circuito de entrada:

$$k_i = \frac{I_2}{I_1},$$

siendo I_1 la intensidad de corriente del circuito de entrada, en A o mA;
I_2 la intensidad de corriente del circuito de salida del triodo, en A o mA.

En el caso de circuito con emisor común tenemos

$$k_i = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \beta,$$

siendo β la ganancia interna de corriente del triodo en el caso de circuitos con emisor común.

El coeficiente β se puede también determinar por la fórmula

$$\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b},$$

siendo ΔI_c la variación de corriente en el circuito del colector;
ΔI_b la variación de corriente en el circuito de base.

El coeficiente de transmisión de corriente α se puede determinar de acuerdo con la fórmula

$$\alpha = \frac{\Delta I_c}{I_{em}},$$

siendo ΔI_c la variación de corriente en el circuito del colector;
ΔI_{em} la variación de corriente en el circuito del emisor.

En el caso de circuitos con base común

$$k_i = \alpha.$$

La ganancia de tensión de un triodo se determina por la relación entre la tensión a la salida y la tensión a la entrada:

$$k_u = \frac{U_2}{U_1},$$

siendo U_2 la tensión a la salida del triodo, en V;
U_1 la tensión a la entrada del triodo, en V.

En el caso de circuitos con emisor común tenemos

$$k_u = -k_i \frac{r_{ent_2}}{r_{ent}},$$

siendo r_{ent} la resistencia de entrada del paso, en Ω;
r_{ent_2} la resistencia de entrada del paso ulterior, en Ω.

La ganancia de tensión de un triodo también se puede calcular de acuerdo con las fórmulas:

$$k_u = \frac{\Delta U_c}{\Delta U_b} \text{ ó } k_u = \frac{\Delta U_c}{\Delta U_{em}},$$

siendo ΔU_c la variación de tensión en el colector del triodo, en V;
ΔU_b la variación de tensión en la base del triodo, en V;
ΔU_{em} la variación de tensión en el emisor del triodo, en V.

En el caso de circuitos con base común tenemos

$$k_u = \alpha \frac{r_{ent_2}}{r_{ent}}.$$

En el caso de circuitos con colector común tenemos

$$k_u \approx 1.$$

La ganancia de potencia de un triodo se determina en términos de la relación de la potencia de salida del triodo a la potencia alimentada a su entrada.

El valor máximo de la ganancia de potencia de un triodo se obtiene al conectar el triodo en circuito con emisor común.

La ganancia de amplificación en potencia de un triodo es

$$k_P = \frac{P_{sal}}{P_{ent}},$$

siendo P_{sal} la potencia a la salida del triodo, en W,
P_{ent} la potencia alimentada a la entrada del triodo, en W.

La ganancia de amplificación en potencia de un triodo también puede calcularse de acuerdo con la fórmula

$$k_P = k_u k_i,$$

siendo k_u la ganancia de tensión del triodo;
k_i la ganancia de corriente del triodo.

En el caso de circuitos con emisor común tenemos

$$k_P = k_i^2 \frac{r_{car}}{r_{ent}},$$

siendo r_{car} la resistencia de carga, en Ω;
r_{ent} la resistencia a la entrada, en Ω.

La ganancia de potencia de un triodo se puede calcular también mediante la fórmula

$$k_P = k_u \beta.$$

En el caso de circuitos con colector común tenemos

$$k_P \approx k_i \qquad \text{ó} \quad k_P = k_u \alpha.$$

En el caso de circuitos con base común tenemos

$$k_P = k_i k_u.$$

La resistencia de entrada de un triodo semiconductor se determina como la relación entre el cambio de la tensión alimentada a sus bornas de entrada y la variación de intensidad de corriente que provoca éste en el circuito del electrodo de entrada del triodo:

$$r_{ent} = \frac{\Delta U_{ent}}{\Delta I_{ent}},$$

siendo ΔU_{ent} la variación de la tensión de entrada, en V;
ΔI_{ent} la variación de intensidad de corriente a la entrada, en A.

La resistencia de entrada de un triodo con base a tierra es

$$r_{ent} = \frac{\Delta U_{em}}{\Delta I_{em}},$$

siendo ΔU_{em} la variación de tensión en el circuito del emisor, en V;
ΔI_{em} la variación de corriente en el circuito del emisor en A.

La resistencia de entrada de un triodo con emisor común es

$$r_{ent} = \frac{\Delta U_b}{\Delta I_b}.$$

La intensidad de corriente del colector de un triodo se determina por la ley de Ohm:

$$I = \frac{U_c}{r_{car}},$$

siendo U_c la tensión en el colector, en V;
r_{car} la resistencia de carga, en Ω.

La resistencia de salida del triodo es

$$r_{sal} = \frac{\Delta U_{sal}}{\Delta I_{sal}},$$

siendo ΔU_{sal} la variación de tensión a la salida del triodo, en V.
ΔI_{sal} la variación de intensidad de la corriente de salida del triodo, en A.

615. En la fig. 73, *a*, *b* y *c* se representan tres circuitos de conexión de triodos semiconductores. ¿Cómo se llama cada uno de estos circuitos?

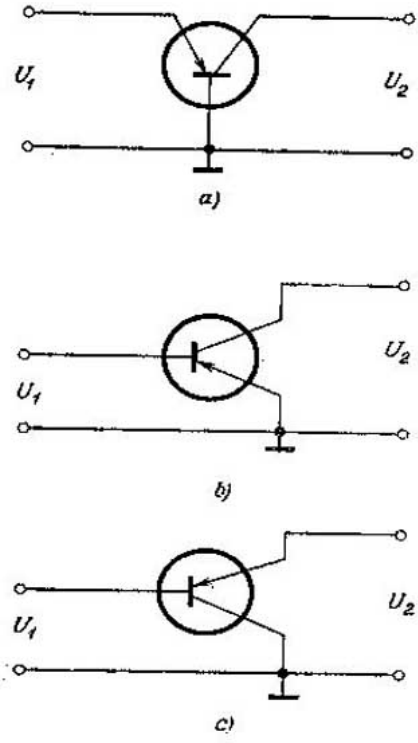


Fig. 73

616. Calcular la intensidad de corriente de un colector de un triodo semiconductor conectado en circuito con base común, si la tensión $U_c = -20$ V y la resistencia de carga del triodo $r_{car} = 5000\ \Omega$.

S o l u c i ó n. La intensidad de corriente del colector de un triodo semiconductor es

$$I_c = \frac{U_c}{r_{car}} = \frac{20}{5000} = 4\text{mA}.$$

617. La variación de tensión en el circuito de un emisor $\Delta U_{em}=0{,}0125$ V y la variación de intensidad de corriente en este circuito es igual a 0,0005 A. Calcular la resistencia de entrada del triodo con base común.

S o l u c i ó n. La resistencia de entrada del triodo es

$$r_{ent}=\frac{\Delta U_{em}}{\Delta I_{em}}=\frac{0{,}0125}{0{,}0005}=25\Omega.$$

618. La tensión en las bornas del colector de un triodo semiconductor es igual a 50 V y la intensidad de corriente del colector es de 25 mA. Determinar el valor de la resistencia de carga del triodo.

619. La resistencia de carga conectada a un triodo semiconductor es igual a 17 Ω, la intensidad de corriente en el circuito del colector es de 3 A. Determinar la tensión de la fuente de corriente conectada al colector.

620. La variación de intensidad de corriente en el circuito del emisor de un triodo es de 0,5 mA y corresponde a la variación de intensidad de corriente en el circuito del colector $\Delta I_c=0{,}45$ mA. Calcular la ganancia interna de corriente del triodo.

621. Calcular la ganancia de tensión de un triodo, si la variación de tensión $\Delta U_c=2{,}25$ V y la variación de tensión en el circuito del emisor es de 0,0125 V.

622. Calcular la ganancia de potencia de un triodo, valiéndose de las soluciones de los problemas 620 y 621.

S o l u c i ó n. La ganancia de potencia de un triodo es

$$k_p=\alpha k_u=0{,}9\cdot 180=162.$$

623. La variación de tensión en el circuito del colector de un triodo conectado en circuito con base común es igual a 12 V y la variación de intensidad de corriente en este circuito es de 0,0006 A. Determinar la resistencia de entrada del triodo.

624. Calcular la resistencia de entrada de un triodo conectado en circuito con emisor común, si la variación de tensión en el circuito de base, igual a 0,05 V, provoca la variación de intensidad de corriente de base en 1 mA.

625. ¿Cuál será la ganancia de corriente de un triodo conectado en circuito con emisor común, si la variación de corriente en el circuito del colector es igual a 7,5 mA y la variación de corriente de base es de 1 mA?

626. La variación de tensión de base de un triodo conectado en circuito con emisor común U_b, es igual a 0,05 V y la variación de tensión en el colector es de 7,5 V. Calcular la ganancia en tensión del triodo.

627. ¿Cuál será la tensión que se debe suministrar a la entrada de un triodo, si la corriente del emisor es de 0,3 mA y la resistencia de entrada del triodo es igual a 750 Ω?

628. La tensión en el colector de un triodo semiconductor es igual a 50 V y su potencia de disipación es de 3 W. Determinar la intensidad de corriente en el circuito del colector.

Solución. La potencia de disipación $P_c = U_c I_c$. De aquí que la intensidad de corriente en el circuito del colector sea

$$I_c = \frac{P_c}{U_c} = \frac{3}{50} = 0{,}06A = 60 \text{ mA}.$$

629. La corriente admisible límite del colector de un triodo semiconductor en régimen de reposo es de 250 mA y la tensión límite en el colector $U_c = -50$ V. Calcular la potencia máxima que disipa el colector del triodo.

630. Determinar la tensión en el colector de un triodo, si la corriente en el circuito del colector es igual a 3 A y la potencia de disipación en el mismo es de 9 W.

631. Calcular la ganancia de potencia de un triodo si la ganancia de tensión es igual a 160 y la ganancia de corriente del triodo es de 0 8.

632. La intensidad de corriente en el circuito de entrada de un colector es igual a 0,0003 A y la intensidad de corriente en el circuito de salida es de 0,01 A. Calcular la ganancia de corriente del triodo.

633. La tensión a la entrada de un triodo es igual a 0,225 V y a la salida es de 1,575 V. Determinar la ganancia de tensión del triodo.

634. La ganancia de corriente de un triodo, al conectarlo en circuito con emisor común, es igual a 7. La resistencia de entrada del segundo paso de amplificación r_{ent_2} es de 70 Ω. Determinar la ganancia de tensión del triodo, si $r_{ent} = 60$ Ω.

635. Calcular la ganancia de tensión de un triodo si $\alpha = 5$. Los datos sobre las resistencias r_{ent} y $r_{ent\,2}$ pueden tomarse del problema 634.

636. La ganancia de corriente de un triodo conectado en circuito con emisor común $k_i=5$. La resistencia de carga del triodo $r_{car}=2000\ \Omega$ y la resistencia de entrada $r_{ent}=100\ \Omega$. Determinar la ganancia de potencia del triodo.

637. La ganancia de tensión de un triodo $k_u=120$ y el valor de $\beta=7{,}6$. Determinar la ganancia de potencia del triodo.

638. La variación de tensión a la entrada de un transistor, igual a 0,08 V, provoca la variación en 1,6 mA de la intensidad de corriente en este circuito. Calcular la resistencia de entrada del triodo.

639. La tensión a la salida de un triodo varía en 18 V; en este caso, la intensidad de corriente varía en 0,006 A. Calcular la resistencia de salida del triodo.

XXIV. CELULAS FOTOELECTRICAS

La sensibilidad de una célula o celda fotoeléctrica se define como la razón de la corriente fotoeléctrica a la magnitud del flujo luminoso:

$$k = \frac{I_f}{\Phi},$$

siendo k la sensibilidad de la célula fotoeléctrica, en μA/lm;
I_f la intensidad de corriente fotoeléctrica, en μA;
Φ el flujo luminoso, en lm.

El flujo luminoso se puede determinar con ayuda de la fórmula

$$\Phi = 10^{-4} SE,$$

siendo S el área de la capa sensible de la fotorresistencia, en cm²;
E la luminosidad, en lm.

La sensibilidad específica de la fotorresistencia es

$$k_{esp} = \frac{I_f}{\Phi U},$$

siendo k_{esp} la sensibilidad específica, en μA/lm—V;
I_f la intensidad de corriente fotoeléctrica, en μA;
U la tensión de servicio, en V.

En muchos casos es importante conocer la magnitud de la variación r de la fotorresistencia debida a la acción que el flujo luminoso ejerce en ésta:

$$\Delta r = r_{osc} - r_{lum},$$

siendo Δr el incremento de resistencia, en Ω;
r_{osc} la resistencia de oscuridad, en Ω;
r_{lum} la resistencia de luminosidad, en Ω.

La variación relativa r de la fotorresistencia se puede determinar valiéndose de la fórmula

$$r_{rel} = \frac{\Delta r}{r_{osc}}.$$

La multiplicidad de la variación de r de la fotorresistencia * que expresa la relación entre la resistencia de oscuridad y la de la luminosidad, se calcula del siguiente modo

$$r_{mul} = \frac{r_{osc}}{r_{lum}}.$$

La tensión de servicio de una fotorresistencia se puede calcular de acuerdo con la fórmula

$$U_{ser} = 0,1 r_{osc},$$

siendo U_{ser} la tensión de servicio, en V;
r_{osc} la resistencia de oscuridad, en Ω.

El factor de multiplicación de la corriente fotoeléctrica por el fotomultiplicador es:

$$k = \frac{I_2}{I_1},$$

siendo I_1 y I_2 la intensidad de la corriente fotoeléctrica primaria y de la secundaria, respectivamente, en A.

Problemas

640. Proyectar el circuito de conexiones de una célula fotoeléctrica, utilizando la fig. 74.

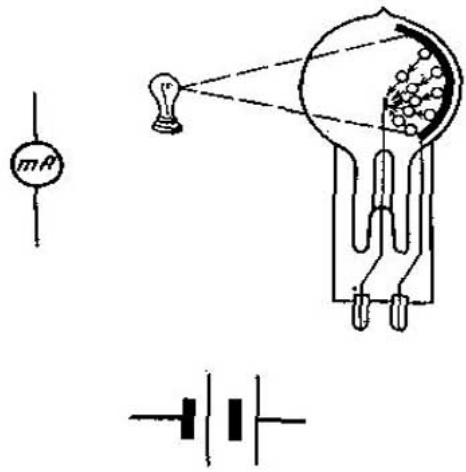


Fig. 74

* La multiplicidad de la variación r de la fotorresistencia puede tener valores que van de 1,2 a 500.

641. Determinar la sensibilidad de una célula fotoeléctrica, si la corriente fotoeléctrica es igual a 50 μA y la potencia del flujo de la energía radiante es de 20 μW.

642. La sensibilidad de una célula fotoeléctrica es igual a 0,6 μA/lm y la intensidad de la corriente fotoeléctrica es de 100 μA. Calcular la potencia del flujo de la energía radiante.

643. La potencia del flujo de la energía radiante es igual a 60 μW y la sensibilidad de la célula fotoeléctrica es igual a 0,52 A/W. Calcular la intensidad de la corriente fotoeléctrica.

644. Calcular la sensibilidad de una célula fotoeléctrica de selenio, si la intensidad de la corriente fotoeléctrica es igual a 990 μA y el valor del flujo luminoso que incide sobre la célula fotoeléctrica, $\Phi=0{,}3$ lm.

S o l u c i ó n. La sensibilidad de la célula fotoeléctrica $k=\frac{I_f}{\Phi}=\frac{990}{0{,}3}=3300$ μA/lm.

645. La intensidad de la corriente fotoeléctrica es igual a 50 μA y la sensibilidad de la célula fotoeléctrica es de 200 μA. Determinar el valor del flujo luminoso.

646. El valor del flujo luminoso que actúa sobre una célula fotoeléctrica es de 0,4 lm y el valor de su sensibilidad es igual a 400 μA/lm. Determinar la intensidad de la corriente fotoeléctrica.

647. El área útil de una célula fotoeléctrica es igual a 200 mm² y la luminosidad de esta superficie $E=60$ lx. Determinar el flujo luminoso.

S o l u c i ó n. El flujo luminoso $\Phi=10^{-4}\ SE$. Poniendo los valores que conocemos tendremos $\Phi=10^{-4}\cdot 200\cdot 60=1{,}2$ lm.

648. Construir la característica luminosa de una fotoresistencia de acuerdo con los siguientes datos:

I_f, μA	0	90	140	175	200
Φ, lm	0	0,1	0,2	0,3	0,4

y determinar la intensidad de corriente fotoeléctrica. El flujo luminoso tiene los valores siguientes: 0,15 y 0,25 lm.

649. La tensión aplicada a una fotorresistencia es $U=100$ V. El flujo luminoso que actúa sobre ésta tiene un valor de $\Phi=0{,}25$ lm. Calcular la sensibilidad especí-

fica, si se sabe que la corriente fotoeléctrica tiene un valor de $I_f = 15\,000$ μA.

Solución. La sensibilidad específica de la fotorresistencia es

$$k_{esp} = \frac{I_f}{\Phi U} = \frac{15\,000}{0{,}25 \cdot 100} = \frac{15\,000}{25} = 600 \text{ μA/lm-V}.$$

650. La sensibilidad específica de una fotorresistencia es de 6000 μA/lm-V. La tensión que se le aplica tiene un valor de 20 V. Calcular la intensidad de la corriente fotoeléctrica en el caso que el flujo luminoso tenga un valor de $\Phi = 0{,}5$ lm.

651. ¿Qué tensión hay que aplicar a una fotorresistencia de sensibilidad específica $k_{esp} = 2500$ μA/lm-V; la intensidad de corriente fotoeléctrica $I_f = 90\,000$ μA y el flujo luminoso que actúa sobre la fotorresistencia tiene un valor de $\Phi = 0{,}4$ lm?

652. ¿De qué magnitud debe ser un flujo luminoso para que en el circuito de una fotorresistencia que dispone de una sensibilidad específica $k_{esp} = 3500$ μA/lm-V, a una tensión de $U = 200$ V, la intensidad de la corriente fotoeléctrica sea igual a 70 000 μA?

653. La resistencia de una fotorresistencia en la oscuridad es igual a 10 000 Ω y en presencia de luz 1000 Ω. ¿En cuántos ohmios varía su resistencia?

654. La fotorresistencia de oscuridad de un aparato es igual a $5 \cdot 10^6$ Ω, en tanto que en presencia de luz es igual a $3 \cdot 10^6$ Ω. Calcular la variación relativa de su resistencia.

655. La variación relativa de la resistencia de una fotorresistencia es igual a 0,6 y su resistencia de oscuridad es de $5 \cdot 10^4$ Ω. Determinar el número de ohmios en que varió la resistencia de la célula fotoeléctrica al iluminarla y su resistencia en presencia de luz.

656. Una fotorresistencia posee una resistencia con valor de $6 \cdot 10^4$ Ω, pero en presencia de luz ésta se reduce hasta un valor de $1{,}5 \cdot 10^4$ Ω. Calcular la multiplicidad de variación de la resistencia.

657. Una resistencia de oscuridad tiene un valor de $2{,}10^6$ Ω y la multiplicidad de variación de la resistencia es 500. Determinar el valor de su resistencia en presencia de luz.

658. Determinar la resistencia de servicio que corresponde a una fotorresistencia, si se sabe que su resistencia de oscuridad $r_{osc}=4$ kΩ.

659. La tensión de servicio que alimenta a una fotorresistencia tiene un valor de 200 V. Determinar su resistencia de oscuridad.

660. Construir la gráfica de la relación funcional entre una corriente fotoeléctrica y la luminosidad de un fotodiodo. Al efecto, hacer uso de los siguientes datos:

E, en lx	0	400	800	1200	1600
I_f, en μA	0	100	200	300	400

y determinar en términos de la gráfica la intensidad de corriente fotoeléctrica en presencia de una luminosidad de valor igual a 1000 lx.

661. Construir la gráfica de la tensión en las bornas de una célula fotoeléctrica de efecto fotoeléctrico interno en función de la luminosidad haciendo uso de los datos:

U, en V	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6
E, en lx	0	100	150	250	450	800

y, en términos de la gráfica, determinar la tensión que cede la célula fotoeléctrica en presencia de una luminosidad de valor igual a 700 lx.

662. Construir la característica de voltios-amperios de la corriente fotoeléctrica en función de la tensión de servicio de una célula fotoeléctrica de vacío a base de antimonio-cesio. Hágase uso de los datos:

U_{ser}, en V	0	50	100	150	200	250	300
I_f, en μA	0	15	15	15	15	16	16

663. Calcular la ganancia de amplificación de una corriente fotoeléctrica que tiene efecto por razón de emisión secundaria de electrones en un multiplicador fotoeléctrico, si se sabe que la corriente fotoeléctrica primaria tiene un valor igual a 100 μA y la corriente secundaria compone un valor de 800 μA.

664. La ganancia de amplificación del multiplicador fotoeléctrico de una cascada es igual a 10 y la corriente fotoeléctrica secundaria tiene un valor igual a 550 μA. Determinar la intensidad de la corriente fotoeléctrica primaria.

XXV. RECTIFICACION DE LA CORRIENTE ALTERNA

El proceso de transformación de la corriente alterna en continua se llama rectificación.

La determinación de las tensiones y de las corrientes en los devanados de un transformador rectificador sin filtro, en caso de despreciarse la resistencia interna de la válvula, se efectúa de acuerdo con las siguientes fórmulas:

el valor eficaz de la tensión secundaria

en el caso de un rectificador de media onda $U_2 = 1{,}11\ U_0$;

en el caso de un rectificador de onda completa con punto medio y en el de un circuito monofásico en puente $U_2 = 2{,}22\ U_0$,

siendo U_0 la tensión rectificada, en V;

U_2 la tensión en las bornas del devanado secundario, en V;

el valor eficaz de la corriente en el devanado secundario

en el caso de un rectificador de onda completa con punto medio $I_2 = 0{,}78\ I_0$;

en el caso de un circuito monofásico en puente de onda completa, $I_2 = 1{,}11\ I_0$;

siendo I_0 la intensidad de la corriente rectificada, en A;

I_2 la intensidad de corriente en el devanado secundario, en A.

El valor de la tensión rectificada de un rectificador de selenio que trabaja sobre una carga activa se calcula de acuerdo con la fórmula

$$U_0 = kU - \Delta Un,$$

siendo U el valor eficaz de la tensión alterna alimentada, en V;

k el coeficiente que depende del circuito de rectificación *;

ΔU la caída de tensión en dirección directa en la válvula **, en V;

n el número de válvulas conectadas en serie.

La cantidad de diodos, que hay que conectar en paralelo en el caso de que circule una corriente prevista de carga por el rectificador con circuito en puente, se determina de conformidad con la fórmula

$$m = \frac{I_{car}}{I_{rect}},$$

siendo I_{car} la corriente prevista de carga, en A;

I_{rect} la corriente rectificada admisible para un solo diodo, en A.

La tensión de la marcha en vacío del rectificador $U_{0_{mar}}$ es mayor que la tensión del rectificador a plena carga en una magnitud igual

---

* En el caso de un circuito en puente $k = 0{,}9$; en el de una válvula $k = 0{,}45$.

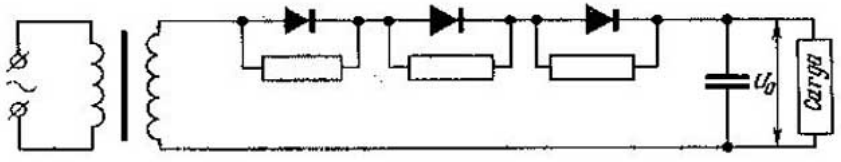
** El valor de ΔU en el caso de un rectificador de la serie ABC es igual a $0{,}46 \div 0{,}6$.

El valor de ΔU en el caso de un rectificador de la serie TBC es igual a $0{,}56 \div 0{,}75$.

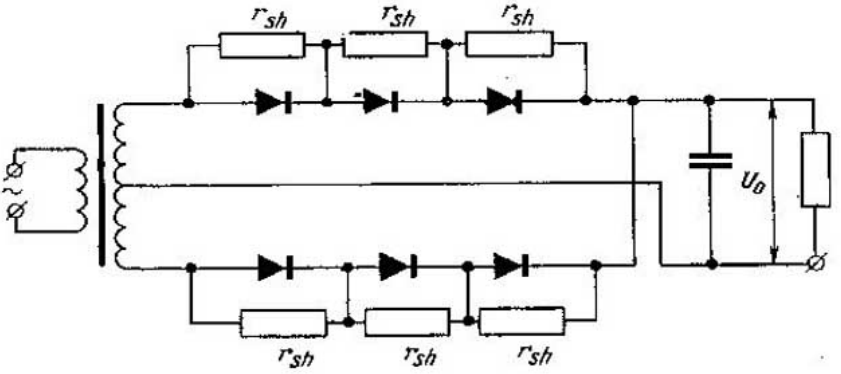
a la de la caída de tensión en el transformador, en el filtro de aplanamiento y en las válvulas. A saber,

$$U_{0_{mar}} = U_0 + U_{trans} + U_{flt} + 2U_{clr},$$

siendo U_0 la tensión del rectificador a plena carga, en V;
U_{trans} la caída de tensión en el transformador, en V;
U_{flt} la caída de tensión en el filtro, en V;
U_{clr} la caída de tensión en uno de los brazos del circuito en puente, en V.



a)



b)

Fig. 75

Para garantizar la distribución uniforme de la tensión inversa total entre los diodos de germanio y de selenio acoplados en paralelo se les conectan en paralelo a cada uno resistencias compuestas de valores iguales * (fig. 75, *a*).

El número mínimo de diodos (con sus resistencias en shunt) en un circuito de rectificación de media onda y en cada brazo del rectificador de onda completa con punto medio (fig. 75, *b*) se puede determinar por la expresión

$$n = \frac{3{,}5U_0}{U_{inv}},$$

* Las corrientes en las resistencias deben sobrepasar varias veces las corrientes inversas de los diodos.

siendo U_0 la tensión rectificada en las bornas del condensador de entrada del filtro, en V;

U_{inv} la tensión inversa para un solo diodo, en V.

El número mínimo de diodos en cada brazo de circuito en puente (fig. 76) puede calcularse de acuerdo con la fórmula

$$n = \frac{1,8U_0}{U_{inv}}.$$

Al efecto de reducir la pulsación de la tensión rectificada se disponen filtros a la salida del rectificador.

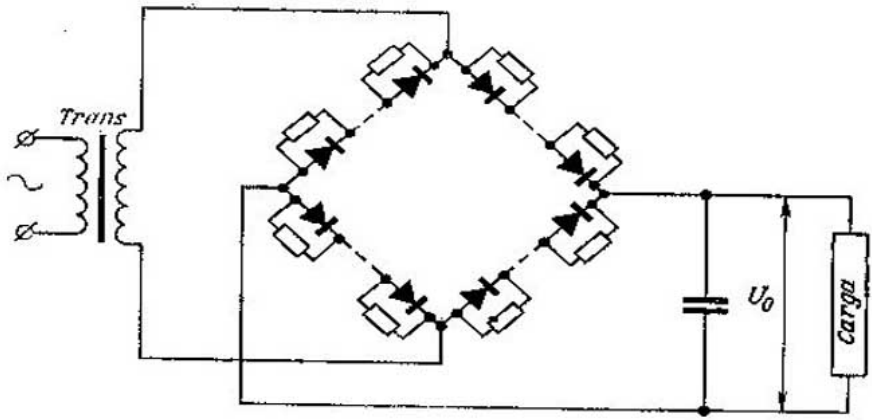


Fig. 76

La tensión en las bornas de la resistencia del filtro de resistencia-capacidad (fig. 77) del rectificador montado en circuito de rectificación de media onda se puede determinar de acuerdo con la fórmula

$$U_{flt} = 0,2U_{rect},$$

siendo U_{flt} la tensión en las bornas de la resistencia, en V;

U_{rect} la tensión rectificada, en V.

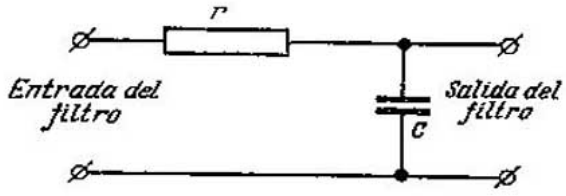


Fig. 77

La tensión en la entrada del filtro representa en sí la suma de tensiones en las bornas de la resistencia del filtro y de la tensión rectificada:

$$U_{ent.\,flt} = U_{flt} + U_{rect}.$$

La tensión inversa en los diodos de este rectificador se puede calcular conforme a la fórmula

$$U_{inv} = 3U_{ent.\ fil.}$$

El número de diodos de este rectificador se determina así:

$$n = \frac{U_{inv}}{U_{inv.\ max}},$$

siendo U_{inv} la tensión inversa en los diodos, en V;
$U_{inv.\ max}$ la mayor tensión inversa admisible para un diodo, en V.

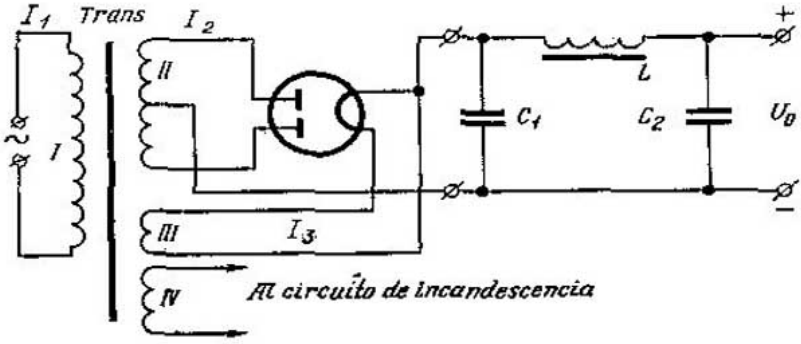


Fig. 78

La corriente máxima en el diodo del rectificador que se considera se puede calcular por la fórmula

$$I_{max} = 7I_{rect},$$

siendo I_{rect} la intensidad de corriente rectificada que debe alimentarse a la carga, en A.

Al calcular el transformador de un rectificador de onda completa (fig. 78) se determina la potencia absorbida por el devanado de caldeo * del transformador de acuerdo con la fórmula

$$P_{cal} = I_{cal}U_{cal},$$

siendo U_{cal} la tensión en las bornas del devanado de caldeo, en V;
I_{cal} la intensidad de corriente en el devanado de caldeo, en A.

La potencia total de todos los devanados secundarios es

$$P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3 + P_{cal},$$

siendo P_1, P_2, P_3, P_{cal} las potencias de cada devanado, en W.

---

* Las corrientes y las tensiones del devanado dependen de las características del kenotrón y de otros tubos que se alimentan de este devanado.

La potencia que el transformader absorbe de la red es:

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_{cal}}{\eta},$$

siendo η el rendimiento del tranformador.

Problemas

665. Utilizando los elementos representados en la fig. 79 proyectar los circuitos de:

a) un rectificador de kenotrón de media onda;

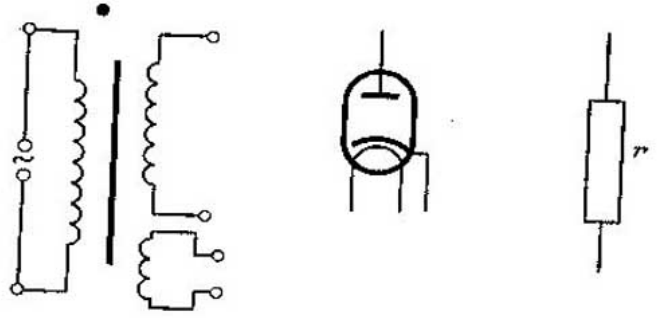
b) un rectificador de kenotrón de onda completa;

c) un rectificador de media onda con diodos semiconductores;

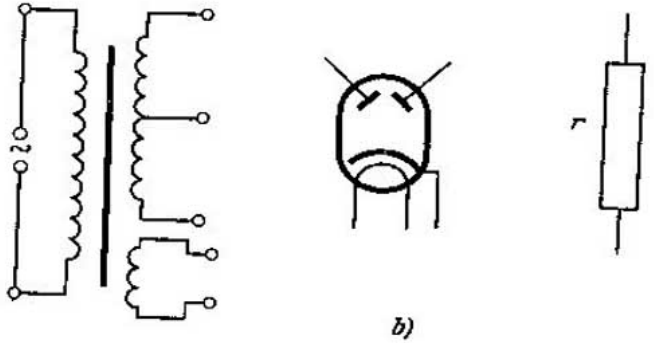
d) un rectificador de onda completa con un diodo semiconductor;

e) un circuito en puente de rectificación.

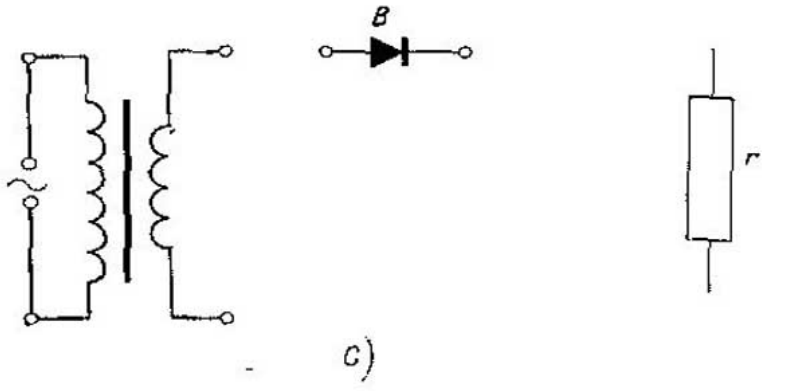
666. ¿Con qué circuito de rectificación se pueden observar las tensiones que se ilustran en la fig. 80, *a* y *b*



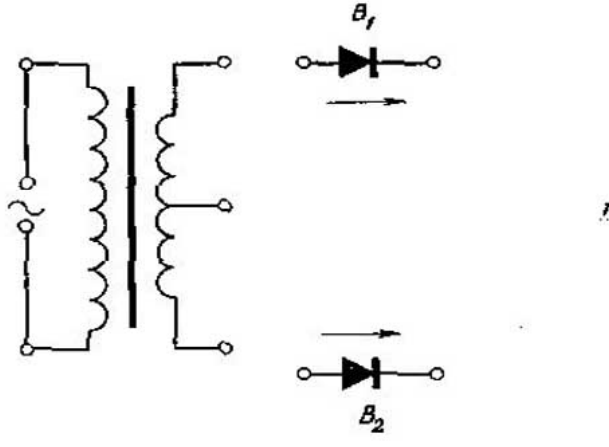
a)



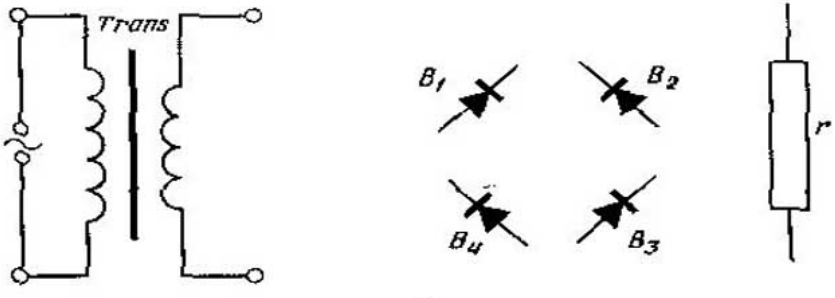
b)



c)



d)



e)

Fig. 79

a la salida del rectificador hasta el filtro mediante un oscilógrafo?

667. Un rectificador de kenotrón montado en un tubo tipo 5Ц4С en circuito de onda completa, debe dar tensión rectificada de $U_0 = 300$ V. Determinar la tensión en las bornas del devanado elevador secundario de un transformador.

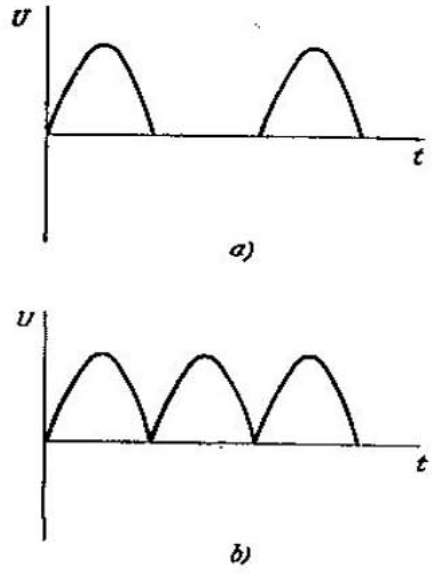


Fig. 80

Solución. La tensión en las bornas del devanado elevador secundario de un transformador es

$$U_2 \approx 2{,}22U_0 \approx 2{,}22 \cdot 300 \approx 666 \text{ V}.$$

668. La intensidad de la corriente rectificada de un rectificador de kenotrón de onda completa con punto medio es igual a 0,1 A. Determinar la intensidad de corriente que fluye por el devanado elevador secundario del transformador de este rectificador.

669. La tensión en las bornas de un devanado elevador secundario del transformador de un rectificador de onda completa (fig. 78) es igual a 420 V. Determinar la magnitud de la tensión rectificada a la salida del rectificador.

Solución. De la fórmula $U_2=2{,}22\,U_0$ se deduce que la magnitud de la tensión rectificada $U_0=\frac{U_2}{2{,}22}=\frac{420}{2{,}22}=$ $=189{,}1$ V.

670. La intensidad de corriente en el devanado elevador secundario del transformador de un rectificador de kenotrón de onda completa con filtro en U es $I_2=78$ mA. Determinar la intensidad de la corriente rectificada.

671. Para alimentar el filamento de un kenotrón se necesita una tensión $U_{cal}=5$ V y una intensidad de corriente en su circuito $I_{cal}=2$ A. Determinar la potencia absorbida por el devanado de caldeo del kenotrón.

672. La potencia del devanado secundario del transformador de un rectificador de kenotrón que alimenta el filamento de un kenotrón es de 3,78 W y la tensión para alimentar el filamento es igual a 6,3 V. Determinar la intensidad de corriente en este devanado del transformador.

673. La intensidad de corriente que fluye por el circuito de caldeo de los tubos de un aparato electrónico que se alimenta desde un rectificador de kenotrón tiene un valor de 2,2 A, siendo la tensión de 6,3 V. Calcular la potencia del devanado de un transformador para el caldeo de los tubos del aparato.

674. La potencia total absorbida por todos los circuitos de un rectificador de kenotrón es de 80 W y el rendimiento del transformador del rectificador es igual a 0,75. Calcular la potencia que absorbe el transformador de una red de corriente alterna.

675. La potencia que absorbe el transformador de un rectificador de kenotrón de una red de corriente alterna es igual a 120 W y la tensión de la red es igual a 115 V. Calcular la intensidad de corriente en el devanado primario del transformador.

676. Para rectificar una corriente alterna se ha adquirido un rectificador de selenio tipo 100ГД20А2К. Valiéndose de la tabla de denominaciones de tipos de rectificadores (véase el suplemento 6) determinar:

a) las dimensiones de los elementos del rectificador;
b) la tensión inversa admisible;
c) el circuito del rectificador;
d) el número de elementos en el rectificador;

e) la serie de diodos y la cantidad de circuitos en paralelo.

677. Valiéndose de la tabla de denominaciones de tipos de rectificadores, determinar lo que significa la denominación del rectificador tipo 40ГМ8ЯГ.

678. Calcular el rectificador de un aparato eléctrico, en el que se han montado tubos tipo 6А7, 6К7, 6Г2 y 6П6С. Como kenotrón se utiliza un tubo tipo 6Ц5С. Los datos de estos tubos se dan en la tabla 4.

Tabla 4

Tipo de tubo	Tensión anódica, en V	Tensión de encendido, en V	Corriente de caldeo, en A	Corriente sumaria ($I_{an}+I_{r_2}$), en mA
6А7	250	6,3	0,3	5,7
6К7	250	6,3	0,3	13,0
6Г2	250	6,3	0,3	1,1
6П6С	250	6,3	0,45	49,5
6Ц5С	—	6,3	0,6	—

Calcular:

a) la intensidad total de corriente que los circuitos anódicos de pantalla de todos los tubos absorben del rectificador;

b) la potencia absorbida por los circuitos anódicos de pantalla de los tubos;

c) la intensidad total de corriente de caldeo de los tubos (salvo el kenotrón);

d) la potencia que se gasta en el caldeo de los tubos (salvo el kenotrón);

e) la potencia consumida para el caldeo del kenotrón.

679. Un rectificador de selenio consta de dos circuitos. En cada circuito hay 10 diodos tipo ABC índice A. El valor eficaz de la tensión suministrada es igual a 250 V, ΔU=0,6 V. El coeficiente k se toma igual a 0,45. Determinar la magnitud de la tensión rectificada, si el rectificador trabaja con carga activa.

Solución. La magnitud de la tensión rectificada del rectificador de selenio que trabaja con carga activa es

$$U_{rec} = kU - \Delta Un = 0{,}45 \cdot 250 - 0{,}6 \cdot 10 = 106 \text{ V}.$$

680. Un rectificador de germanio tipo Д 303 admite una tensión inversa de 150 V. Determinar el número de diodos en el circuito del rectificador, si la tensión inversa total en los diodos es de 900 V.

681. Para alimentar una instalación se necesita corriente rectificada de 40 mA de intensidad. Determinar la validez de los diodos tipo Д 303 para la instalación dada, si la intensidad máxima de la corriente rectificada para este diodo es igual a 3 A.

682. La tensión rectificada que se necesita obtener de un rectificador semiconductor montado en circuito en puente es igual a 60 V. La intensidad de la corriente rectificada $I_{rec}=12$ mA. La corriente máxima rectificada de un diodo $I_{pues}=3$ A. Calcular la cantidad de ramas en paralelo en el brazo de la columna de rectificación.

683. La caída de tensión en el transformador de un rectificador es $U_{trans}=2$ V, en el filtro de aplanamiento, $U_{fil}=4$ V y en el diodo, $U_{rel}=1{,}2$ V. Determinar la tensión de la marcha en vacío del rectificador de puente, si la tensión rectificada $U_0=60$ V.

684. Unos diodos tipo Д 208 están conectados a un rectificador de media onda. Para que la tensión inversa total se distribuya uniformemente entre los diodos, cada uno de éstos va puesto en derivación por una resistencia.

Determinar la cantidad de diodos que ha de llevar el rectificador, si la tensión en la entrada del condensador del filtro de aplanamiento $U_{fil}=288$ V y la tensión inversa $U_{inv}=300$ V.

685. La alimentación de un aparato electrónico requiere hacer un rectificador de puente a base de diodos tipo Д7Д que dé 320 V a la entrada del filtro. Determinar el número necesario de diodos en cada brazo de puente, si la tensión inversa $U_{inv}=190$ V.

XXVI. AMPLIFICADORES DE BAJA FRECUENCIA

La ganancia de tensión (coeficiente de amplificación l) en un amplificador es

$$k_u = \frac{U_{sal}}{U_{ent}},$$

siendo U_{sal} la tensión a la salida del amplificador, en V;
U_{ent} la tensión a la entrada del amplificador, en V.

La ganancia de corriente en un amplificador es

$$k_i = \frac{I_{sal}}{I_{ent}},$$

siendo I_{ent} la intensidad de corriente a la salida del amplificador, en A;

I_{ent} la intensidad de corriente a la entrada del amplificador, en A.

La ganancia de potencia en un amplificador es:

$$k_P = \frac{P_{sal}}{P_{ent}},$$

siendo P_{sal} la potencia de salida, en W;

P_{ent} la potencia de entrada, en W.

La ganancia de un amplificador depende de la ganancia del tubo (μ), de su resistencia interna (r_i) y de la resistencia de la carga conectada al circuito del ánodo (r_{an}):

$$k = \frac{\mu r_{an}}{r_i + r_{an}},$$

donde r_i y r_{an} se miden en kΩ.

La ganancia del paso de amplificación se puede calcular por la fórmula

$$k = \mu \frac{\alpha}{\alpha + 1}$$

siendo $\alpha = \frac{r_{an}}{r_i}$.

Si $r_{an} < r_i$ tendremos que la ganancia se puede determinar valiéndose de la fórmula

$$k = Sr_{an}.$$

En el caso de amplificadores polietápicos la ganancia total es

$$r_{tot} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdots$$

Si se saben la tensión de salida (U_{nsal}) del último paso y la tensión a la entrada U_{1ent} del primer paso, entonces la ganancia total del amplificador polietápico se determinará de acuerdo con la fórmula

$$k_{tot} = \frac{U_{nsal}}{U_{1ent}}.$$

La potencia máxima a la salida de un amplificador, sujeto a la condición de que las distorsiones no sobrepasen una magnitud dada, se llama potencia nominal. Esta potencia es

$$P_{sal} = \frac{U_{sal}^2}{r_{car}},$$

siendo P_{sal} la potencia de salida, en W;

r_{car} la resistencia de carga, en Ω.

El rendimiento de un amplificador es

$$\eta = \frac{P_2}{P_1},$$

siendo P_2 la potencia de salida del amplific
P_1 la potencia absorbida de la fuente

En el caso de un amplificador por resiste
de señal de rejilla del tubo de cada paso o cascada de amplificación se puede determinar de acuerdo con la fórmula

$$U_{\text{señ}} = \frac{U_{\text{sal}}}{k},$$

siendo $U_{\text{señ}}$ la tensión de la señal de rejilla de paso, en V;
U_{sal} la tensión a la salida de paso, en V;
k la ganancia de paso.

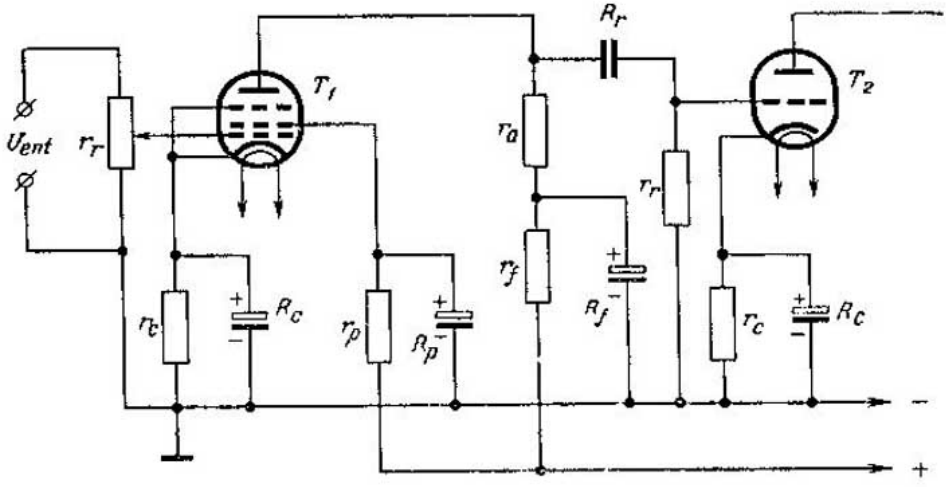


Fig. 81

La resistencia de fuga de la rejilla del tubo de un amplificador se toma de 6 a 10 veces mayor que la resistencia de la carga anódica:

$$r_{\text{rej}} = (6 \div 10) r_{\text{an}}.$$

La resistencia del circuito de autopolarización de un tubo de un amplificador por resistencia es

$$r_{\text{con}} = \frac{U_{\text{rej}}}{I_{\text{an}_0} + I_{\text{pan}_0}},$$

siendo U_{rej} la tensión negativa suministrada a la rejilla del tubo, en V;
I_{an_0} la intensidad de corriente de reposo del tubo, en A;
I_{pan_0} la intensidad de corriente de la rejilla pantalla, en A.

La capacidad en el circuito de autopolarización es

$$C_{\text{con}} = \frac{10^6}{2\pi f_{\text{inf}} \cdot 0{,}2 r_{\text{con}}},$$

siendo C_{con} la capacidad del condensador, en nF;
f_{inf} la frecuencia inferior amplificada, en Hz.

La relación entre la ganancia del paso y la ganancia del triodo $\frac{k}{\mu}$ es habitualmente de 0,5 a 0,7.

Si esta relación es igual a 0,7, la ganancia del triodo del amplificador por resistencia es

$$\mu = \frac{k}{0,7},$$

siendo k la ganancia de paso del amplificador.

Puesto que la ganancia de tensión en el paso es

$$k_u = \frac{U_{sal}}{U_{ent}},$$

entonces la tensión de salida es

$$U_{sal} = 0,7\mu U_{ent},$$

y la tensión a la entrada del paso es

$$U_{ent} = \frac{U_{sal}}{0,7\mu}.$$

Si es conocida la magnitud de la capacidad de C_{rej}, entonces la resistencia del amplificador por resistencia es

$$r_{rej} = \frac{0,5 \cdot 10^{-6}}{C_{rej} f_{int}},$$

siendo C_{con} la capacidad del condensador, en μF;
f_{inf} la frecuencia inferior amplificada, en Hz.

La magnitud de la resistencia de carga anódica es

$$r_{an} = (2 \div 3)\, r_i,$$

siendo r_i la resistencia interna del tubo, en Ω.

La tensión anódica correspondiente al punto de trabajo de la característica U_0 se determina por la fórmula

$$U_{an_0} = (U_{ent} + 1) \cdot 2\mu.$$

La tensión de polarización de rejilla del tubo es

$$U_{rej_0} = (1 \div 1,2)\, U_{ent}.$$

En esta fórmula, el coeficiente 1,2 corresponde a los cátodos de óxido, en tanto que el coeficiente igual a la unidad corresponde a los cátodos de bario.

La tensión de la batería anódica es

$$U_b = U_{an_0} + I_0 r_{an},$$

siendo I_0 la intensidad de corriente anódica que corresponde al punto de trabajo de la característica, en A.

La tensión necesaria para alimentar el amplificador es

$$U = U_{an} + (-U_{rej}) + I_0 r_{an} \text{ ó } U = U_{an} + U_{con} + U r_{an},$$

siendo U_{an} la tensión anódica, en V;

$U_{rej_1} = U_{con}$ la tensión de autopolarización suministrada a la rejilla de mando del tubo, en V;

I_0 la intensidad de corriente de reposo del tubo, en A;

$U_{r\,an}$ la tensión en la carga anódica, en V.

Problemas

686. Proyectar el circuito de un amplificador de oscilaciones eléctricas; utilizando al efecto los elementos representados en la fig. 82.

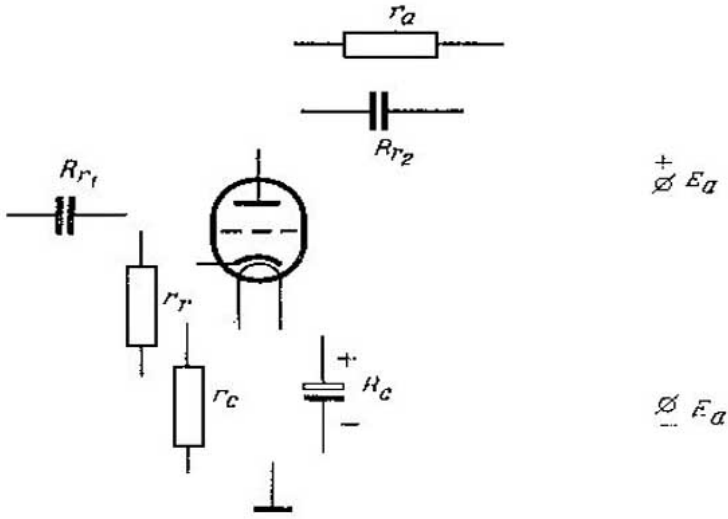


Fig. 82

687. La tensión de salida de un amplificador es igual a 76 V y la tensión suministrada a la entrada de este amplificador es de 0,04 V. Calcular la ganancia de tensión en el amplificador.

688. La ganancia de un amplificador es igual a 800 y la tensión a su salida es de 40 V. Determinar la tensión a la entrada del amplificador.

689. La tensión a la entrada de un amplificador es igual a 0,08 V y la ganancia es igual a 300. Calcular la tensión a la salida de este amplificador.

690. La intensidad de corriente a la entrada de un amplificador es igual a 2 mA y a su salida, $I_{sal} = 100$ mA. Determinar la ganancia de corriente en el amplificador.

691. La ganancia de corriente en un amplificador es igual a 25 y la intensidad de corriente a la entrada es de 30 mA. Calcular la intensidad de corriente a la salida del amplificador.

692. La potencia suministrada a la entrada de un amplificador es igual a 0,05 W y la potencia a su salida, 25 W. Determinar la ganancia del amplificador.

693. La ganancia de un amplificador es igual a 600 y la potencia a su salida es de 50 W. ¿Cuál será la potencia que se suministra a la entrada del amplificador?

694. La razón de la resistencia r_{an} de un amplificador a la resistencia interna r_i de un tubo es de 0,05 y la ganancia del tubo $\mu=25$. Calcular la ganancia del amplificador.

695. La ganancia de un tubo amplificador $\mu=35$ y la resistencia r_{an} es 4 veces mayor que la resistencia interna del tubo. Calcular la ganancia del amplificador, si $r_i=40$ kΩ.

696. La resistencia de carga de un amplificador es igual a 2000 Ω y la potencia a su salida es de 5 W. Determinar la tensión a la salida del amplificador.

Solución. La tensión a la salida del amplificador $U_{sal}=\sqrt{P_{sal}\, r_{car}}$,

$$U_{sal}=\sqrt{5\cdot 2\,000}=\sqrt{10\,000}=100 \text{ V}.$$

697. La potencia a la salida de un amplificador $P_{sal}=12$ W y la resistencia de carga $r_{car}=600$ Ω. Calcular la tensión a la salida del amplificador.

698. La tensión a la salida de un amplificador es igual a 45 V. Determinar su potencia de salida, si se sabe que la resistencia de carga es de 90 Ω.

Solución. La tensión a la salida del amplificador $U_{sal}=\sqrt{P_{sal}\, r_{car}}$.

De esta fórmula se deduce que $U^2_{sal}=P_{sal}\, r_{car}$, de aquí que $P_{sal}=\dfrac{U^2_{sal}}{r_{car}}$. Colocando en esta fórmula las magnitudes, obtenemos

$$P_{sal}=\frac{45^2}{90}=\frac{2025}{90}=22{,}5 \text{ W}.$$

699. Determinar la magnitud de la resistencia de carga de un amplificador, si la tensión a su salida es igual a 33 V y la potencia de salida es de 12 W.

700. La potencia de salida de un amplificador, indicada en su instructivo, es igual a 5 W. La resistencia de carga $r_{car}=1100\ \Omega$. Determinar la tensión a la salida del amplificador.

701. La tensión medida en las bornas de carga de un amplificador es de 40 V y la resistencia de carga es de 1000 Ω. Determinar la potencia de salida del amplificador.

702. La potencia de salida de un amplificador es de 3 W y la tensión a su salida es de 15 V. Determinar la resistencia de carga del amplificador.

703. La potencia a la salida de un amplificador es igual a 5 W. Calcular el rendimiento del amplificador, si la potencia que absorbe el amplificador de la fuente de alimentación es de 8 W.

704. El rendimiento de un amplificador es de un 70%. Calcular la potencia que absorbe el amplificador de la fuente de alimentación, si la potencia de salida de la señal debe ser igual a 25 W.

705. Calcular la potencia a la salida de un amplificador, si éste absorbe de la fuente de alimentación una potencia igual a 40 W y su rendimiento es de 0,65.

706. La ganancia de un tubo es igual a 25 y su resistencia interna es de 10 000 Ω. Calcular la ganancia del paso si la resistencia de carga anódica es $r_{an}=40\ 000\ \Omega$ y $r_{an}=4000\ \Omega$.

Solución. El factor de amplificación del paso cuando $r_{an}=40\ 000\ \Omega$ se determina de la razón $k=\frac{\mu r_{an}}{r_i+r_{an}}=\frac{25\cdot 40\ 000}{10\ 000+40\ 000}=20$.

En el caso en que la resistencia de carga anódica sea $r_{an}=4000\ \Omega$.

$$k=\frac{\mu\cdot r_{an}}{r_i+r_{an}}=\frac{25\cdot 4000}{10\ 000+4000}=7{,}14.$$

707. La ganancia de un tubo $\mu=35$ y su resistencia interna $r_i=30\ k\Omega$. Determinar la ganancia del paso de amplificación cuando se conecta al circuito anódico una carga de 80 kΩ.

708. En el paso final de un amplificador de baja frecuencia se ha colocado un tubo, cuya ganancia es igual a 11. Determinar la ganancia del paso, si $r_{an}=r_i=40\ 000$.

709. En un amplificador por resistencia se han colocado dos tubos: en el primer paso, un tubo tipo 6Ж8, en el segundo, un tubo tipo 6С5. Determinar la ganancia del amplificador y de cada paso por separado, si la resistencia interna del tubo tipo 6Ж8 es igual a 1 МΩ y la del tubo tipo 6С5 es de 12 kΩ. La ganancia del tubo tipo 6Ж8 es igual a 1650 y la del tubo tipo 6С5 es 20. La resistencia de la carga anódica en el circuito del primer tubo es de 3 МΩ y en el circuito del segundo tubo $r_{an}=36$ kΩ.

710. La tensión a la salida del paso de un amplificador por resistencia es igual a 12 V y la ganancia del tubo de este paso es 8. Determinar la tensión de la señal que entra a la rejilla del tubo.

711. La ganancia de un tubo es igual a 100 y la tensión a la salida del paso de un amplificador por resistencia debe ser de 1 V. Calcular el valor de la tensión que debe alimentarse a la rejilla de este tubo para obtener la tensión indicada a su salida.

712. Calcular la ganancia del paso de un amplificador, si la resistencia en el circuito anódico $r_{an}=24\,000$ Ω. La resistencia interna del tubo r es de 12 kΩ y la ganancia del tubo $\mu=20$.

713. La tensión en las bornas de una carga anódica es igual a 180 V y la resistencia de carga de un tubo amplificador $r_{an}=24\,000$ Ω. Determinar la intensidad de corriente en la carga del tubo.

714. La tensión en las bornas de una carga anódica es igual a 150 V. Determinar la magnitud de la resistencia de carga del tubo amplificador, si se sabe que la intensidad de corriente en la carga es de 15 mA.

715. La intensidad de corriente en un circuito de carga de un tubo amplificador es igual a 14 mA. Calcular la tensión en la resistencia del circuito anódico, si se sabe que la resistencia de carga $r_{an}=30\,000$ Ω.

716. La resistencia de la carga anódica de un amplificador $r_{an}=30$ kΩ. Determinar la resistencia de fuga en la rejilla del tubo, si $r_{rej1}=8r_{an}$.

717. La tensión negativa suministrada a la rejilla del triodo de un amplificador $-U_{rej}=-2$ V y la corriente de reposo del tubo es igual a 5 mA. Determinar la magnitud de la resistencia r_{con} en el circuito de autopolarización de la rejilla del tubo.

718. En el circuito de autopolarización del triodo de un amplificador por resistencia se ha conectado una resistencia $r_{con}=500\ \Omega$. La frecuencia mínima de la señal que se suministra a la entrada del amplificador $f_m=60$ Hz. Determinar la capacidad del condensador C_{con} conectado a este circuito.

719. La tensión de salida de un amplificador por resistancia debe ser igual a 5 V en caso que la tensión en la entrada sea de 0,3 V. Determinar la ganancia de este amplificador.

720. La tensión a la salida del paso de un amplificador por resistencia es igual a 7 V. Determinar la tensión de la señal a la entrada del tubo, si la ganancia de este último es de 28.

721. Calcular el valor de la capacidad C_{con} de un amplificador a base de un tubo tipo 6П3С, si la resistencia $r_{con}=180\ \Omega$ y la frecuencia mínima de señal que se suministra a la entrada del amplificador $f_m=60$ Hz.

722. La tensión U que alimenta a un amplificador de baja frecuencia es igual a 266 V. La tensión que entra a la rejilla pantalla de un tubo $U_{pan}=250$ V y la intensidad de corriente en el circuito de esta rejilla $I_{pan}=8$ mA. Determinar el valor de la resistencia r_{pan} de la rejilla pantalla.

Solución. La resistencia de la rejilla pantalla es

$$r_{pan}=\frac{U-U_{pan}}{I_{pan}}=\frac{266-250}{0,008}=2000\Omega.$$

723. Calcular la tensión necesaria para alimentar un tubo amplificador tipo 6П3С, si la tensión anódica $U_{an}=250$ V; la tensión que entra a la rejilla de mando $U_{rej_1}=14$ V; la intensidad de corriente de reposo del tubo es igual a 70 mA y la resistencia pura del devanado primario del transformador $r_1=200\ \Omega$.

724. La frecuencia mínima amplificada por un amplificador $f_{min}=60$ Hz y la resistencia r_{pan} en el circuito de la rejilla pantalla es igual a 350 Ω. Determinar el valor de la capacidad C_{pan} del condensador de filtro de la rejilla pantalla.

725. El rendimiento del transformador de salida de un amplificador es igual a 0,8. La potencia de salida del amplificador es de 4 W. Determinar la potencia que debe asegurar un tubo instalado en este amplificador.

Solución. Es sabido que el rendimiento de un transformador es

$$\eta = \frac{P_2}{P_1},$$

de aquí que $P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{4}{0{,}8} = 5$ W.

726. Calcular el valor máximo de la intensidad de corriente de reposo de un tubo tipo 6П3С, si la potencia de disipación del ánodo $P_{an} = 20{,}5$ W y la tensión anódica $U_{an} = 250$ V.

727. Determinar la magnitud de la resistencia r_{an} de un amplificador, si la tensión $U_{rej_1} = 14$ V, la intensidad de corriente anódica de reposo de un tubo tipo

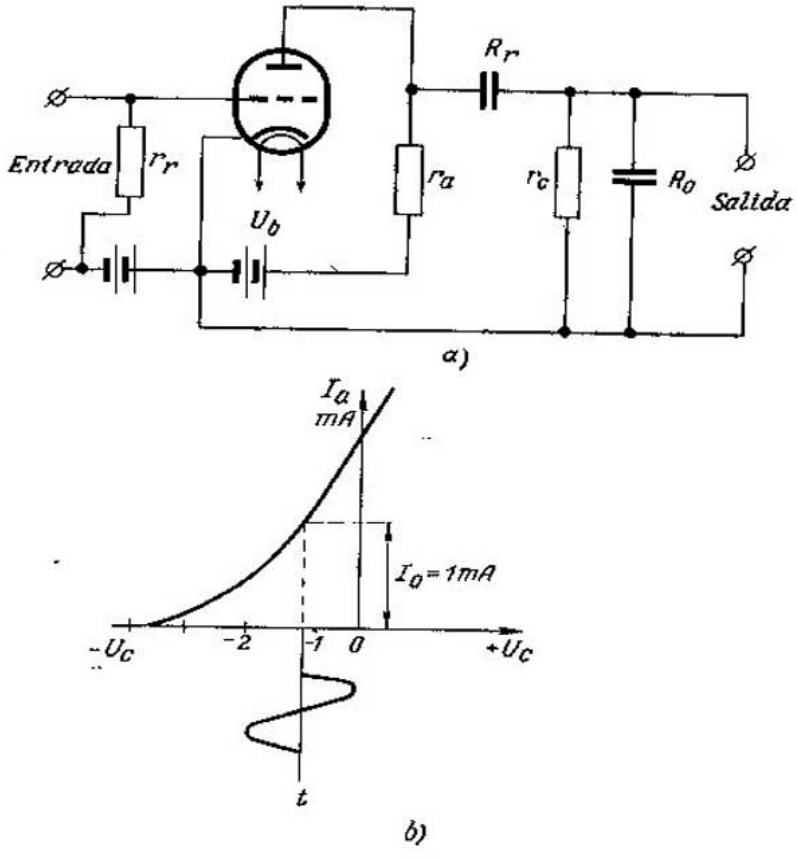


Fig. 83

6П3С es igual a 70 mA y la intensidad de corriente de reposo de la rejilla pantalla $I_{pan\,0}$=8 mA.

728. La pendiente de curva característica de un tubo S=mA/V y la resistencia r_{an}=2000 Ω. Determinar la ganancia del amplificador.

729. El triodo de un amplificador de baja frecuencia (fig. 83, *a*) tiene una pendiente S=12,5 mA/V; la ganancia μ=25 y la resistencia interna $r_i=20\cdot10^3$ Ω. La banda de frecuencias por amplificar se encuentra entre los límites de f_{bal} =100 Hz y f_{alt} =5000 Hz. La tensión a la entrada del amplificador es igual a 1 V. La resistencia r_{an}=40 000 Ω. El valor de la capacidad C_{rej}=0,1 μF. La característica del triodo se da en la fig. 83, *b*. Determinar:

a) la magnitud de la resistencia r_{rej};

b) la ganancia del amplificador;

c) la tensión de placa del amplificador U_{an_0} que asegura el trabajo en una sección rectilínea de la característica;

d) la tensión de polarización en la rejilla del tubo;

e) la intensidad de corriente anódica;

f) la tensión de batería.

XXVII. GENERADORES DE OSCILACIONES ELECTRICAS

La potencia alimentada a un generador en funcionamiento se consume en la potencia útil de las oscilaciones eléctricas generadas en el circuito y en la de caldeo del ánodo del tubo generador (válvula trasmisora).

La potencia suministrada al generador se determina de acuerdo con la fórmula

$$P = P_{ut} + P_{an},$$

siendo $P_{út}$ la potencia útil, en W;

P_{an} la potencia de disipación en el ánodo de la lámpara, en W.

Además, la potencia alimentada al generador también puede calcularse de acuerdo con la fórmula

$$P = I_{an}U_{an},$$

siendo I_{an} la intensidad de corriente continua en el circuito del ánodo, en A;

U_{an} la tensión en el ánodo del tubo del generador, en V.

El rendimiento de un generador representa en sí la razón de la potencia útil a la potencia suministrada y se expresa en tantos por ciento:

$$\eta = \frac{P_{ut}}{P}\cdot 100.$$

La frecuencia de las oscilaciones se determina en términos de la inductancia y de la capacidad del circuito oscilante, calculándose de acuerdo con la fórmula

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

siendo f la frecuencia de las oscilaciones, en Hz;
L la inductancia del circuito oscilante, en Hz;
C la capacidad del circuito oscilante, en F.

Puesto que $2\pi f = \omega$, tenemos que la pulsatancia de las oscilaciones en el circuito es

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ rad/s}.$$

Problemas

730. Proyectar un circuito simple de un generador de válvula con autoexcitación y acoplamiento inductivo por reacción, utilizando los elementos de la fig. 84.

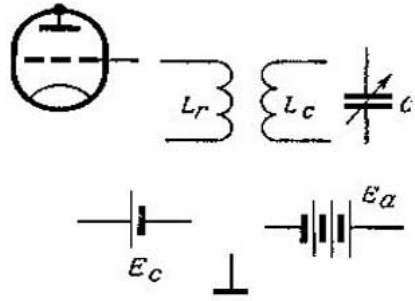


Fig. 84

731. Valiéndose de los elementos de la fig. 85 proyectar el circuito de un generador con autopolarización bajo la influencia de la corriente de rejilla: *a* — en términos de una capacidad y de una resistencia, *b* — en términos de una bobina de choque y de una resistencia.

732. Proyectar el circuito de un generador a base de transistores con emisor común, aprovechando los elementos de la fig. 86.

733. Calcular la potencia alimentada de una fuente de tensión anódica y absorbida por un generador, si la potencia de disipación en el ánodo de una lámpara generadora es igual a 125 W y su potencia útil es de 60 W.

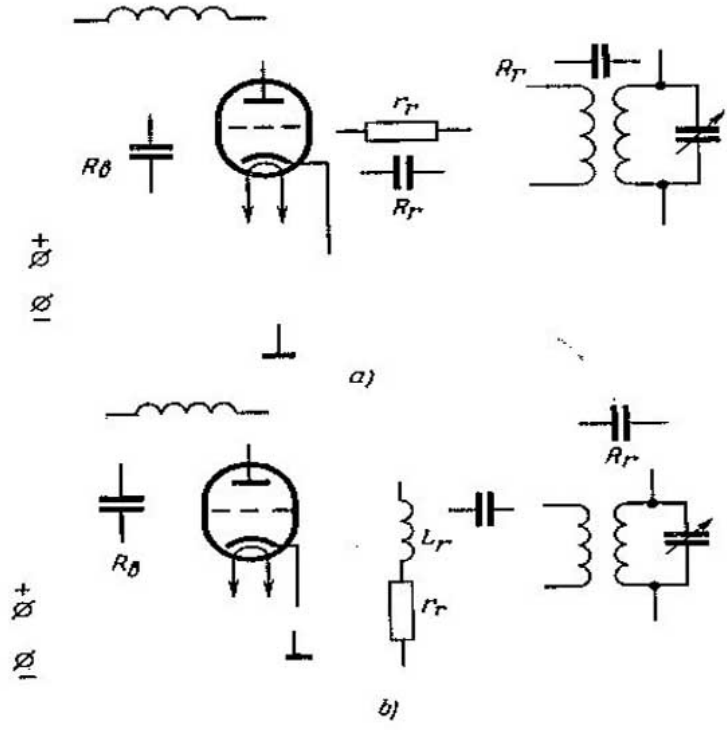


Fig. 85

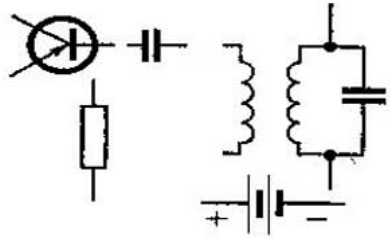


Fig. 86

734. La tensión conectada al circuito del ánodo de una lámpara generadora $U_{an}=400$ V. La intensidad de corriente en el circuito del ánodo es de 50 mA. Determinar la potencia suministrada al generador.

735. La tensión conectada al circuito del ánodo de una lámpara generadora es igual a 280 V. Determinar

la potencia suministrada, si la intensidad de corriente anódica en el circuito de la lámpara generadora es de 8 mA.

736. La potencia de las oscilaciones generadas en el circuito de un generador es igual a 60 W. Determinar el rendimiento del generador, si la potencia suministrada al generador es igual a 240 W.

737. El rendimiento de un generador es de un 42%. Determinar la potencia de las oscilaciones generadas por el generador, si la intensidad de las pérdidas en el ánodo de la lámpara generadora es igual a 10 W.

738. La potencia suministrada a un generador es de 40 W. Determinar la tensión de la fuente de alimentación anódica, si la intensidad de corriente anódica es igual a 25 mA.

739. Determinar la intensidad de corriente en el circuito del ánodo de una lámpara generadora, si la potencia suministrada al generador es igual a 450 W y la tensión anódica en el circuito de la lámpara es de 1500 V.

740. Determinar la frecuencia de las oscilaciones eléctricas generadas en el circuito de un generador, si la inductancia del circuito $L=2\cdot10^{-4}$ H y su capacidad $C=200$ μF.

Solución. La pulsatancia de las oscilaciones eléctricas en el circuito es

$$\omega=\frac{1}{\sqrt{LC}}=\frac{1}{\sqrt{2\cdot10^{-4}\cdot200\cdot10^{-6}}}=\frac{1}{\sqrt{400\cdot10^{-10}}}=\frac{1}{2\sqrt{10^{-8}}}=$$

$$=\frac{10^4}{2}=5000 \text{ rad/seg.}$$

Puesto que $\omega=2\pi f$, entonces la frecuencia de las oscilaciones $f=\frac{\omega}{2\pi}=\frac{5000}{6{,}28}=796{,}1$ Hz.

741. La frecuencia de las oscilaciones eléctricas en el circuito de un generador $\omega=7000$ rad/seg; la capacidad conectada al circuito $C=100$ μF. Determinar el valor de la inductancia que se debe conectar al circuito para obtener oscilaciones de la frecuencia indicada.

742. La inductancia de un circuito oscilante es igual a $2\cdot10^{-4}$ H. Determinar la capacidad que se debe conectar en el circuito para que éste genere oscilaciones de una frecuencia de $\omega=3\cdot10^3$ rad/seg.

La velocidad de incremento de corriente en el devanado de un relé electromagnético se determina por la constante de tiempo del circuito:

$$\tau = \frac{L}{r},$$

siendo L la inductancia del devanado del relé, en H;
r la resistencia pura del devanado del relé, en Ω.

El intervalo de tiempo desde el instante en que se aplica la tensión hasta aquel en el que se cierran los contactos del relé, se llama tiempo de respuesta de un relé y se calcula en términos de la fórmula

$$t_{resp} = t_{dis} + t_{mov},$$

siendo t_{dis} el tiempo de disparo, en seg; t_{mov} el tiempo de movimiento, en seg.

El factor de servicio se calcula como la razón de la intensidad operativa de la corriente a la intensidad de corriente de respuesta (corriente de acción)

$$k_{ser} = \frac{I_{oper}}{I_{resp}},$$

siendo I_{oper} la intensidad de la corriente operativa, en mA;
I_{resp} la intensidad de corriente de respuesta del relé, en mA.

El factor de mando de un relé indica cuántas veces la potencia en el circuito de control sobrepasa la potencia absorbida por el devanado del relé que trabaja un tiempo prolongado se determina por la fórmula

$$k_{man} = \frac{P_{man}}{P_{abs}},$$

siendo P_{man} la potencia del circuito de control, en W;
P_{abs} la potencia absorbida por el devanado del relé, en W.

El factor de retorno del relé que se determina como la razón de la intensidad de la corriente de liberación del relé a la intensidad de corriente de respuesta se calcula de acuerdo con la fórmula

$$k_{ret} = \frac{I_{lib}}{I_{resp}},$$

siendo I_{lib} la intensidad de corriente de liberación, en mA;
I_{resp} la intensidad de corriente de respuesta, en mA.

El factor de retorno del relé también se puede calcular en términos de la tensión de liberación y la de respuesta

$$k_{ret} = \frac{U_{lib}}{U_{resp}}.$$

La fuerza de atracción del inducído de un relé electromagnético se puede calcular en términos de la fórmula

$$F = 6{,}4 \cdot 10^{-3} I^2 w^2 \frac{S}{\sigma},$$

siendo F la fuerza de atracción del inducido del relé, en G;
I la intensidad de corriente en el devanado del relé, en A;
w el número de espiras del devanado;
S el área de la sección transversal del entrehierro, en mm²;
σ la longitud del entrehierro entre el inducido y el núcleo, en mm.

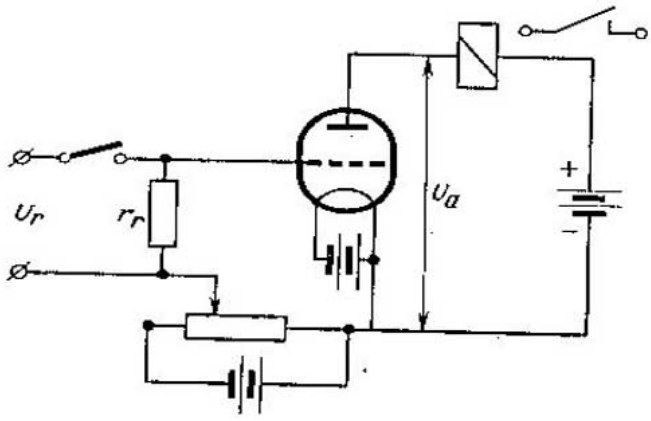


Fig. 87

El tiempo de respuesta de un relé termiónico se determina en términos del tiempo de respuesta de un relé electromagnético conectado al circuito anódico de un tubo electrónico (fig. 87).

La resistencia interna del tubo electrónico reduce la constante de tiempo del circuito del relé electromagnético:

$$\tau = \frac{L}{r + r_i},$$

siendo τ la constante de tiempo de funcionamiento del relé electromagnético, en seg;
L la inductancia del devanado del relé, en H;
r la resistencia activa del devanado del relé, en Ω;
r_1 la resistencia interna del tubo electrónico del relé, en Ω.

Problemas

743. Establecer las denominaciones de los relés electromagnéticos en términos de su clasificación por contactos. En la fig. 88, *a*, *b* y *c*, los relés están representados por designaciones convencionales.

744. ¿Cómo se llaman los contactos de un relé electromagnético, cuyas formas están representadas en la fig. 89, *a*, *b* y *c*?

745. Proyectar el circuito eliminachispas en los contactos de un relé. Utilícese la fig. 90.

746. La inductancia del devanado de un relé electromagnético $L=1{,}2$ H. Determinar la constante de tiempo del circuito del relé, si la resistencia pura del devanado $r=1200\ \Omega$.

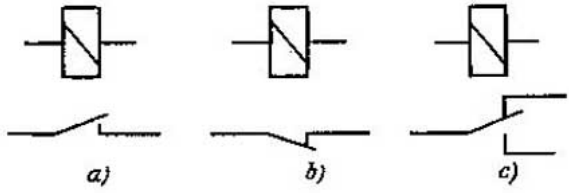


Fig. 88

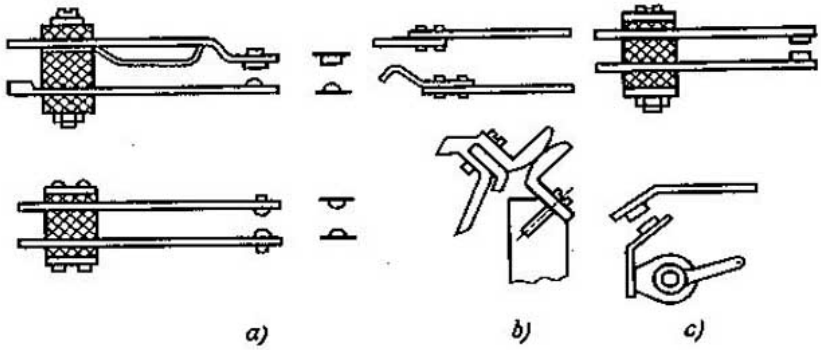


Fig. 89

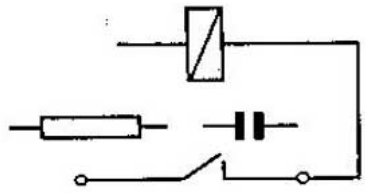


Fig. 90

747. El tiempo de arranque del inducido de un relé electromagético es igual a 1,5 m/s. Determinar el tiempo de respuesta de este relé, si el tiempo de movimiento del inducido es de 0,5 m/seg.

748. Calcular el factor de servicio de un relé electromagnético, si el valor de trabajo de la corriente es igual a 15 mA y la corriente de disparo del relé es de 3 mA.

749. La potencia de la señal que entra al devanado de un relé electromagnético es igual a 1,5 W. Calcular el factor de mando del relé, si la potencia del circuito que dirige este relé es igual a 60 W.

750. La intensidad de la corriente de disparo de un relé es igual a 6 mA y la intensidad de corriente de liberación es de 2 mA. Determinar el factor de retorno del relé.

751. La tensión de liberación de un relé es igual a 100 V. Determinar el factor de retorno del relé, si su tensión de acción o disparo es igual a 120 V.

752. La intensidad de corriente en el devanado de un relé electromagnético es igual a 25 mA, el número de espiras del devanado $w=1200$. El área de la sección transversal del entrehierro entre el inducido y el núcleo $S=2$ cm² y su longitud es de 0,5 mm. Calcular la fuerza de atracción del inducido del relé.

753. Un relé electromagnético, el número de espiras del devanado del cual $w=800$ está conectado a un circuito de tensión $U=60$ V. La resistencia del devanado del relé es igual a 3000 Ω. Calcular la fuerza de atracción del inducido del relé, si la separación entre el inducido y el núcleo es igual a 0,05 mm y el área de la sección de esta separación es de 1,2 cm².

S o l u c i ó n. La corriente que fluye por las espiras del devanado del relé se calcula de acuerdo con la ley de Ohm:

$$I = \frac{U}{r} = \frac{60}{3000} = 0{,}02 \text{ A}.$$

La fuerza de atracción del inducido se calcula según la fórmula:

$$F = 6{,}4 \cdot 10^{-8} I^2 w^2 \frac{S}{\sigma}.$$

Sustituyendo las magnitudes que conocemos por sus valores, obtenemos:

$$F = 6{,}4 \cdot 10^{-8} \cdot 0{,}02^2 \cdot 800^2 \cdot \frac{1{,}2}{0{,}05} = 39{,}3 \text{ G}.$$

754. Calcular el tiempo de respuesta de un relé termiónico, si se sabe que la inductancia del devanado de un relé electromagnético conectado al circuito es de 1,68 H, la resistencia pura de su devanado es igual a 2000 Ω y la resistencia interna del tubo electrónico es igual a 40 000 Ω.

Apendice N° 1

Unidades fundamentales del sistema internacional de unidades SI

N°N° de orden	Unidad fundamental	Denominación	Designación abreviada	
			rusa	latina
1	Metro	Longitud	м	m
2	Kilogramo	Masa	кг	kg
3	Segundo	Tiempo	сек	s
4	Amperio	Intensidad de corriente	а	A
5	Grados Kelvin	Temperatura termodinámica	°K	°K
6	Candela	Intensidad luminosa	св	cd

Apendice N° 2

Unidades abreviadas y fraccionarias

Denominación del prefijo de las unidades	Designación	Designación en letras		Ejemplo
		rusa	latina	
Mega	Millón (10^6)	М	M	Megaohmio
Kilo	Mil (10^3)	к	k	Kilovatio
Hecto	Cien (10^2)	г	h	Hectovatio
Deci	1/10 (10^{-1})	д	d	Decigramo
Centi	1/100 (10^{-2})	с	c	Centímetro
Mili	1/1 000 (10^{-3})	м	m	Milihenrio
Micro	1/1 000 000 (10^{-6})	мк	μ	Microamperio
Pico	10^{-12}	п	p	Picofaradio

Apendice N° 3

Designación de las magnitudes eléctricas y magnéticas

Denominación de la magnitud	Designación en letras	Denominación de la magnitud	Designación en letras
Capacidad eléctrica	C	Constante magnética	μ_0
Carga del electrón	q, e	Constante eléctrica	ε_0
Inductancia	L	Conductibilidad eléctrica específica	$\sigma\gamma$
Inductancia mutua	M	Conductibilidad elèctrica	g G
Inducción magnètica	B	Permitividad absoluta	ε
Induccion magnética remanente	Br	Permitividad relativa	μ
Cantidad de electricidad	Q	Diferencia de fase de tensión y de corriente	φ
Facfor de potencia	cos φ	Fuerza magnetizante	F
Relación de transformación	n	Fuerza electromotriz	E
Factor de acoplamiento	k	Resistencia especifica	ρ
Potencia activa	P	Resistencia pura	r, R
Potencia total	S	Impedancia del circuito eléctrico	Z
Potencia reactiva	Q	Corriente eléctrica	I
Intensidad de imantación	J	Pulsatancia	ω
Tensión eléctrica	U	Frecuencia de la corriente eléctrica	f
Intensidad del campo magnético	H	Número de espiras	w
Intensidad del campo eléctrico	E	Energía del campo magnético	W_m
Período de la corriente de la tensión	T	Energía del campo eléctrico	We
Densidad de la corriente	δ	Energía eléctrica	W
Constante de tiempo de un circuito eléctrico	τ		

Unidades de las magnitudes físicas (SI)

Denominación	Unidad	Designación abreviada		Observaciones
		rusa	latina	
1	2	3	4	5
Unidades mecánicas				
Longitud	metro	м	m	
Masa	kilogramo	кг	kg	
Tiempo	segundo	сек	s	
Angulo plano	radián	рад	rad	$1^\circ = \frac{\pi}{180}$ rad
Frecuencia	herzio	гц	Hz	
Velocidad angular	radián por segundo	рад/сек	rad/s	1 r. p. m $= -\frac{\pi}{30} - \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
Velocidad	metro por segundo	м/сек	m/s	1 r. p. s. $= 2\pi$ rad/s
Area	metro cuadrado	$м^2$	m^2	1 $cm^2 = 10^{-4} m^2$
Volumen	metro cúbico	$м^3$	m^3	1 $cm^3 = 10^{-6} m^3$
Peso específico	newton por metro cúbico	$н/м^3$	N/m^3	
Fuerza	newton	н	N	1 N≈102 g·fuerza
Trabajo, energía	julio	дж	J	1 W = $3{,}6 \cdot 10^3$ J
Potencia	vatio	вт	W	736 W = 1 CV
Presión	newton por metro cuadrado	$н/м^2$	N/m^2	
Unidades térmicas				
Temperatura termodinámica	grados Kelvin	°К, град	°K	t = (T—273,15)
Cantidad de calor	julio	дж	J	4,1868 J = 1 caloría
Capacidad térmica	julio en grados	дж/град	J/grad	

Continuación

1	2	3	4	5
Unidades eléctricas				
Intensidad de corriente	amperio	a	A	1A = 1000 mA
Trabajo y energía	julio	дж	J	1000 J = 1kJ
Potencia	vatio	вт	W	
Cantidad de electricidad	culombio	к	C	
Diferencia de potenciales, tensión, f. e. m.	voltio	в	V	1V = 1000 mV
Intensidad del campo eléctrico	voltio por metro	в/м	V/m	
Resistencia eléctrica	ohmio	ом	Ω	1000Ω = 1 kΩ
Capacidad eléctrica	faradio	ф	F	$1F = 10^6 \mu F = 10^{12} pF$
Flujo magnético	weberio	вб	Wb	$1Wb = 10^8 Mx$
Inducción magnética	tesla $\left(\frac{\text{weberio}}{\text{m}^2}\right)$	тл $\left(\frac{\text{вб}}{\text{м}^2}\right)$	$\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$	$\frac{1Wb}{m^2} = 10\,000$ G
Inductancia e inductancia mutua	henrio	гн	H	1H = 1000 mH
Fuerza magnetomotriz	amperio-vuelta	ав	A-v	
Intensidad del campo magnético	amperio por metro	а/м	A/m	1 Oe = 80 A/m
Unidades acústicas				
Presión acústica	newton por metro cuadrado	Н/м²	N/m²	
Intensidad del sonido	vatio por metro cuadrado	вт/м²	W/m²	
Nivel de la presión acústica	decibelo	дб	db	

Continuación

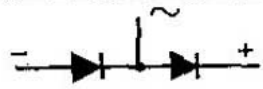
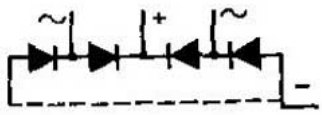
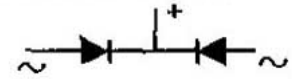
1	2	3	4	5
		Unidades luminosas		
Intensidad luminosa	candela	св	cd	
Flujo luminoso	lumen	лм	lm	
Energía luminosa	lumen por segundo	лм. сек	lm. s	
Luminancia	nit	нт	nt	
Luminosidad	lux	лк	lx	

Funciones trigonométricas naturales

Grados	sen	tg	cot	cos	Grados
0,0	0,0000	0,0080		1,0000	90,0
1,0	0,0175	0,0175	57,290	0,9998	89,0
2,0	0,0349	0,0349	28,6400	0,9994	88,0
3,0	0,0523	0,5240	19,0800	0,9986	87,0
4,0	0,0698	0,0699	14,3000	0,9976	86,0
5,0	0,0872	0,0875	11,4300	0,9962	85,0
6,0	0,1045	0,1051	9,5144	0,9945	84,0
7,0	0,1219	0,1228	8,1443	0,9925	83,0
8,0	0,1392	0,1405	7,1154	0,9903	82,0
9,0	0,1564	0,1584	6,3138	0,9877	81,0
10,0	0,1736	0,1763	5,6713	0,9848	80,0
11,0	0,1908	0,1944	5,1446	0,9816	79,0
12,0	0,2079	0,2126	4,7046	0,9781	78,0
13,0	0,2250	0,2309	4,3315	0,9744	77,0
14,0	0,2419	0,2493	4,0108	0,9703	76,0
15,0	0,2588	0,2679	3,7321	0,9659	75,0
16,0	0,2756	0,2867	3,4874	0,9613	74,0
17,0	0,2924	0,3057	3,2709	0,9563	73,0
18,0	0,3090	0,3149	3,0777	0,9511	72,0
19,0	0,3256	0,3443	2,9042	0,9455	71,0
20,0	0,3420	0,3640	2,7445	0,9397	70,0
21,0	0,3584	0,3839	2,6051	0,9336	69,0
22,0	0,3746	0,4040	2,4751	0,9272	68,0
23,0	0,3907	0,4245	2,3559	0,9205	67,0
24,0	0,4067	0,4452	2,2460	0,9135	66,0
25,0	0,4226	0,4663	2,1445	0,9063	65,0
26,0	0,4384	0,4877	2,0503	0,8988	64,0
27,0	0,4540	0,5095	1,9622	0,8910	63,0
28,0	0,4695	0,5317	1,8807	0,8829	62,0
29,0	0,4848	0,5543	1,8040	0,8746	61,0
30,0	0,5000	0,5774	1,7321	0,8660	60,0
31,0	0,5150	0,6009	1,6643	0,8572	59,0
32,0	0,5299	0,6249	1,6003	0,8480	58,0
33,0	0,5446	0,6494	1,5399	0,8387	57,0
34,0	0,5592	0,6745	1,4826	0,8290	56,0
35,0	0,5736	0,7002	1,4281	0,8192	55,0
36,0	0,5878	0,7265	1,3764	0,8090	54,0
37,0	0,6018	0,7536	1,3270	0,7986	53,0
38,0	0,6157	0,7813	1,2799	0,7880	52,0
39,0	0,6293	0,8098	1,2349	0,7771	51,0
40,0	0,6428	0,8391	1,1918	0,7660	50,0
41,0	0,6561	0,8693	1,1504	0,7547	49,0
42,0	0,6691	0,9004	1,1106	0,7431	48,0
43,0	0,6820	0,9325	1,0724	0,7314	47,0
44,0	0,6947	0,9657	1,0355	0,7193	46,0
45,0	0,7071	1,0000	1,0000	0,7071	45,0
Grados	cos	cot	tg	sen	Grados

Denominación del

100 Г Д

Designación convencional de la medida de los elementos		Designación convencional de la clase de rectificador		Designación convencional del esquema de montaje		
Indice	Medida	Indice	Tensión en un elemento, V	Indice	Denominación	Esquema del rectificador
5	⌀5	В	20	Д	Rectificador de doble brazos	
7	⌀7	Г	25			
12	12×12	Д	30			
13	⌀12	Е	35	Е	Válvula única	
15	15×15	И	40			
18	⌀18	К	45	Ж	Válvula para la conexión en circuito trifásico	
22	22×22					
25	⌀25					
30	30×30			М	Puente monofásico	
40	40×40					
60	60×60					
75	75×75			С	Rectificador con punto medio	
90	90×90					
100	100×100					
120	100×200			Т	Puente trifásico	
124	12×24					
130	100×300					
136	12×36			Х	Puente abierto monofásico	
140	140×400					

tipo de rectificador

Cantidad total de elementos en el rectificador	Designación convencional de la serie del rectificador		Cantidad de ramas en paralelo en el rectificador	Designación adicional de las particularidades de la fabricación (para la fabricación corriente no existe)	
	Indice	Serie		Indice	Particularidades de la fabricación
En el rectificador se coloca la cantidad efectiva de elementos	А	Serie ABC	Se omite cuando se carece de ramas en paralelo, si a la derecha no hay designación adicional	Г	Rectificadores planos (montaje en galleta)
	Г	Serie TBC		К	Rectificadores pintados que se sujetan a las normas de construcción
	Е	A prueba de calor para trabajar en temperaturas de 100° C	Si no hay ramas en paralelo, pero tiene a la derecha una designación adicional se coloca un guión	М	Rectificadores no pintados que se sujetan a normas de construcción para trabajar en aceite
				Н	Rectificadores no pintados que no se sujetan a las normas de construcción, para trabajar en aceite
				П	Rectificadores que toleran corriente nominal de rectificación, con duración reducida de servicio
	Я	Para trabajar con doble tensión corriente		Р	Rectificadores con radiadores para la refrigeración
				Т	Rectificadores fabricados para clima tropical
				У	Rectificadores montados con intervalos reducidos para trabajar con ventilación por aire
				Ц	Rectificadores que tienen varios circuitos iguales, aislados el uno del otro, en un montaje
				Ф	De elementos sobre base fina

RESULTADOS

I. Campo Eléctrico

2. $\sqrt{2} = 1{,}41$ m.
4. Papel parafinado $\varepsilon = 2{,}2$.
6. 2 V.
7. 0,036 J.
8. 0,00003 C.
9. 0,6 V/m.
10. 0,00036 N.
11. 0,3 C.
13. 6 000 000 V/m.
14. 4,5 V.
15. 3000 V.
16. 0,04 cm; 0,07 cm; 0,01 cm.

II. Condensadores

17. 10 μF.
18. 0,0004 C.
19. 400 V.
20. 700 pF
21. 7 unidades.
22. 6,25 μF.
23. 5000 pF.
24. 1,26 μF.
25. En paralelo.
26. 8 unidades.
27. a) 200 pF; b) 5000 pF.
28. 125 pF.
29. 71,4 pF.
30. 113,6 pF.
32. 1096 pF.
33. 0,545 μF.
35. 2,5 μF
36. 2000 V.
39. ≈1350 pF.
40. 0,01 cm.
41. 16 cm^2.
42. Acoplar en paralelo los condensadores: 500 y 100 pF ó 300, 200 y 100 pF.
43. 13,5 pF.
44. 2000 μs.
45. 500 pF.

III. Resistencia eléctrica y conductibilidad

46. $\frac{0{,}4\ \Omega \cdot mm^2}{m}$
47. $\frac{7{,}4 \cdot mm^2}{\Omega\ m}$
48. 11,2 Ω.
49. 0,087 Ω.
50. 7,5 Ω.
51. En 8 veces.
52. 2200 m.
53. En un espiral 225 m; en 10, 2250 m.
54. 0,4 mm^2
55. 25 mm^2.
56. 3,14 mm^2; 3,5 Ω.
57. 0,14 mm^2; 11 m.
58. 10 m.
59. 1074,8 Ω.
60. 31,05 mm^2.

61. 1329,4 m.
62. ≈5814 m.
63. 2,8 Ω; 0,35 S.
64. Cinc, $\rho = 0{,}06 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$.
65. Níquelina, $\rho = 0{,}4 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$
66. Manganina, $\rho = 0{,}43 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$
67. 675 m.
70. 280 Ω.
71. 440 espiras.
72. 0,11 m.
73. 25 714 m.
74. 138,1 m.
76. ≈ en 8,16 Ω.
79. 77 Ω.
80. 67,6° C
81. 110° C.

IV. Conexión de resistencias

87. 700 Ω.
88. 4 unidades.
89. 1130 Ω.
90. 150 Ω.
91. 323,5 m.
92. 1000 Ω.
93. 0,04 mm².
94. $\frac{1}{10}$ S.
95. 9 Ω.
96. 7,27 Ω.
97. 10 Ω.
98. 10 MΩ.
99. Acoplado en serie 945 Ω, en paralelo, 77,14 Ω.
100. 5 Ω.
101. ≈129,5 Ω.
102. 6 m; 8 m; 12 m; 24 m; 48 m; 9,5 Ω.
104. 25 Ω.
106. 36,75 Ω.
107. 1197,6 Ω.
108. 209,3 Ω.

V. Ley de Ohm

109. 30 Ω.
110. 693,5 Ω.
111. 2 A.
112. 0,05 A.
113. 50 V.
114. 1917 Ω.
115. 4 secciones.
116. 2,5 A, 48,5 V.
117. ≈0,133 A; ≈0,267 A; ≈0,4 A.
118. 25 V; 75 V.
119. 15 V; 7,5 V; 37,5 V.
120. 615 Ω; 0,08 A.
124. 60 V.
125. 0,2 A; 30 V; 20 V; 8 V.
126. ≈0,166 Ω.
127. 2,5 Ω.
128. 6,3 V.
129. 16,8 Ω.
132. 115 mA; 11,5 V; 6,9 V; 13,8 V; 276 V.
133. 22,8 V.
134. 598,2 Ω.
135. 125 V, 2 V.
136. 13,5 V.
137. 0,03 A.
138. 15 V; 7,5 V; 37,5 V.
139. 25,64 V; 12,8 V; 21,4 V.
140. 2 A; 90 mm.
141. 4 V; 16 V.
142. 30 Ω; $0{,}45 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$.
144. 200 Ω.
145. 0,028 A.
146. 1176,4 m.
147. 60 V.
148. 500 Ω.
150. 285 mA; 71,25 V.
151. 0,01 V.
152. 22,5 V; 31,5 V; 13,5 V; 52,5 V.
153. 2 mA.
154. 8 mA.
155. 8000 Ω.
156. 320 Ω.

VI. Leyes de Kirchhoff

157. 0,6 A; 0,2 A; 0,4 A; 0,25 A; 1,45 A.
158. 5,5 V, ≈343 mA y 87 mA.
159. ≈6,8 mA, ≈34 mA, ≈17 mA.
161. 0,8 A; 8,48 V; 44,8 V; 4,64 V.
164. 154 mA.
165. J_{1-2} por 1,875 A; J_{3-4} por 2,5 A; 8,74 A.
166. 30 Ω; 0,4 A; 1,2 A.
167. 120 V; 30 A.
168. 12 Ω.
170. 25 mA.
171. $\frac{1}{2 \cdot 10^6}$ S; 10 MΩ; 2 MΩ.
172. Σ42 V; U_1=3,72 V, U_2=8,406 V, U_3=22,392 V U_4=7,464 V.
174. 1,2 A; 19,2 V; 14,4 V; 4,8 V; 9,6 V.
175. 62 A y 248 A.

VII. Trabajo, potencia de una corriente y rendimiento

176. 1800 J; 54 000 J; 1 152 000 J; 2880 J.
177. 360 kJ; 828 kJ; 777,6 kJ.
178. 648 000 J.
179. 5 V.
180. 230,4 kJ.
181. ≈7 h.
182. 810 kJ.
183. 216 kJ.
184. 16 200 kJ.
185. 10 Ω.
186. 1,5 V.
187. 5760 kJ.
188. 117 360 kJ.
189. 1425,6 kJ.
190. ≈39,8 W.
191. 5,67 W.
192. 0,5 A.
193. 4,5 kW; 220 V.
194. ≈3,7 A.
195. 990 W.
196. 220 V.
197. 161,3 Ω; ≈1,3 A.
198. 0,6 W.
199. 0,023 W.
200. 6,3 V.
201. 2,16 W.
203. ≈41 739 Ω.
204. 2,4 kW.
206. 82%.
207. 0,75 kW, 10 800 kJ.
208. 87%
209. ≈80%
210. 97%.
211. ≈98%.
212. 97%.
213. 1100 W; ≈36 kopeks.
214. 1,2 W; 4,8 kW.
215. 6 kW; 60 W.
216. 4,1 kW.
217. 7,14 kW.

VIII. Acción térmica de una corriente

218. 259,2 kJ.
219. 1000 A.
220. 3600 J.
221. 576 kJ.
222. 5 A.
223. 1069,2 kJ.
224. 3 A, 40 A, 216 000 J; 288 000 J.
225. 4536 J.
226. 1800 kJ.
227. 5400 kJ.
228. 1080 kJ.
229. 461,76 kJ.
230. 1980 kJ.
231. 8,84 A.

IX. Acción química de una corriente

232. 2,46 mg.
233. 1,63 A.
234. 357,7 s.
235. 39,36 mg.
236. en 1 g.
237. 0,093 mg/A·s.
239. ≈91,3 min.
240. Cinc.
241. 29,65 g.
244. 3,83 V.
245. 1,5 V.
246. 1 Ω.
247. 8,4 V.
248. 0,004 Ω.
249. 0,283 A.
251. ≈0,138 A.
252. 2 Ω.
253. ≈1,3 A.
254. 25 mA.
256. 1,4 V, 0,05 Ω.
257. 0,004 Ω.
258. 2,4 A.
260. ≈0,013 A.
261. ≈0,16 A.
262. ≈0,01 A.
263. 500 h.
264. ≈100 mA.
265. 1,5 Ω; 1000 h.
266. 21,75 V.
267. 34 elementos.
268. ≈0,04 A.
269. 300 acumuladores acoplarlos en serie-paralelo por 30 unidades en el grupo.
270. 75 mA.
271. 3,33 A, 0,83 A.
272. 3 elementos.
273. 8,1 Ω; 1,4 Ω.
274. ≈11 A; 5,5 A

X. Electromagnetismo

275. 2 T.
276. 15 000 G.
277. 0,02 H/m.
278. ≈0,037 T.
279. 0,0001 A/m.
280. 0,021 Wb.
281. 0,002 m^2.
282. 0,05 T.
283. ≈50,94 N.
284. 3 N.
285. 15 A.
286. 2 m.
287. 0,4 Wb/m^2.
288. 600 A/m.
289. 0,01728 Wb.
290. 0,021 Wb.
291. 16 A/m.
292. $9{,}42 \cdot 10^{-5}$ Wb.
293. 0,144 Wb.
294. 0,0094 Wb.
295. 318,4 N.
296. $24 \cdot 10^3$ l/H.
297. 3000 Wb.
299. 188,4 AV; 220 000 l/Hn.
$\Phi \approx 0{,}0008$ Wb; 4,526 kG.

XI. Inducción electromagnética

305. 15 V.
306. 0,6 m.
307. 3,125 A.
309. 75 V.
310. 50 espiras.
311. 0,024 Wb.
312. $L \approx 703 \cdot 10^{-10}$ H;
$L = 5301 \cdot 10^{-7}$ H;
313. ≈2 cm.
314. 0,006 m^2.
315. 360 mH.
316. 67,7 μ H.
317. ≈14 mH.
318. 0,8.
319. 18 mH.
320. 32 V.
321. 1540 μH; 1220 μ H.
322. 207 μH.
323. 0,072 H.
324. 1,6 V; 0,32 Ω.
325. 250 H.
326. 0,003 Wb.
327. 10 espiras.
328. 3 A.

329. 0,002 seg.
330. 0,02 seg.
331. 149 A.
332. 20 A.
333. 103,9 V.
336. 50 Hz.
337. 4.
338. 500 r.p.m.
339. 50 Hz; 800 Hz.
340. 628 rad/s.
341. 2512 rad/s; 314 rad/s.
342. 500 Hz; 200 Hz.
343. 200 V.
344. 4 A.
345. 144 V.
347. 4000 W.
348. 100 W.
349. 10 V.
350. 5652 Ω.
351. 1000 Hz.
352. 2 mH.
353. 1 H.
354. 22 V.
355. 504 Ω; 0,0995; 85,5°.
356. 12 Ω; 9,2 Ω; 7,71 Ω.
357. 4,04 A.
358. 27,42 Ω; 16,45 V; 0,729.
359. 0,0235 H.
360. 100 V.
361. 56,8 Hz.
362. 30 V; 40 V.
363. 4,4 A.
364. 18,6 Ω; 111,6 V; 94,2 V; 0,05 H; 0,538.
365. 6 Ω; 158 Ω; 162 Ω; 600 V; 15 800 V; 16 200 V.
366. 125,6 Ω; 4,18 Ω; 126 Ω.
368. 197 Hz.

369. 6 Ω; 158 Ω; 162 Ω.
370. 1004,8 Ω; 111,6.
371. 25 200 Ω; 25 207 Ω; 0,0238.
372. 12,56.
373. 8 Ω; 10 Ω; 1,2 A; 7,2 V; 9,6 V; 0,6.
374. 18,8 Ω; 6,4 A; 376 Ω; 0,32 A.
375. 2 μF.
376. 3,6 Ω.
377. 600 V; 15 800 V.
378. 79,5 Ω.
379. 440 Ω; 248 000 Ω.
380. 13,8 μF.
381. ≈127,40 Ω; ≈0,06 Ω; ≈ 0,01 Ω.
382. 106 Ω.
384. 160 Ω; 157 Ω; 10,4 Ω; 9,6 A.

385. a) 31,4 Ω; b) 33,6 Ω; c) 2,97 A; d) 102 μF; e) 8,34 A; f) 280 V; g) 262 V.
386. 140 μF.
387. a)240 Ω; b) 30 Ω; c) 238 Ω.
388. 47,7 Hz.
389. 5630. pF.
392. 303 Ω.
393. 2,65 μF.
394. 200 kHz.
395. a) 5000 Ω; b) 5000 Ω; c) 0,5 A; d) 2500 V; e) 2500 V; f) 1250 VA.
396. 40 Ω; 3 A.

398. 27 Ω; 22 Ω; 4,45 A; 5,46 A; 9,2 A; 68°; 25°; 43°.
399. 5,3 A; 0,0528 A; 7,6 A.
400. 0,25 A; 0,314 A; 0,4 A; 398 Ω; 0,625; 31,2 W.
401. 24 Ω; 6 A.
402. 5,57 A.
405. 507 μF; 16 A.
407. 0,757.
408. 47,1 Ω; 4,67 A; 186 V; 0,127 H; 0,532; 545 W.
409. 480 VA; 0,73; 88 V; 81,86 V; 8,15 mH.

411. 50 V; 1,25 Ω; 2,1 Ω; 2,5 Ω.
412. 1 000 000 Ω.
418. 32 A; 36,4 A; 64,7 A.

XIII. Corriente trifásica

421. 18,3 A; 10,9 A.
423. 323 W.
424. En 3 veces; en $\sqrt{3}$ veces.
426. 17,3 A; 10 A.
427. 276 lámparas.
428. a) 17,3 A; b) 0,133 Ω.
430. 220 V; 11 A; 19,03.

XVI. Mediciones eléctricas

439. Por el tercer aparato.
440. 5 mA.
441. 224 V.
442. 600 Ω.
443. 0,1.
444. 0,01 W; 25 Ω.
445. 0,049 W.
446. 5 V.
447. 7,5 V.
448. 2 A.
449. 30 mA.
450. 7,5 V.
451. 30 kΩ.
454. 0,06 Ω.
455. 0,11 Ω.
456. 0,5 Ω; 0,25 Ω; 0,1 Ω; 0,0454 Ω.
457. 2560 Ω.
458. 194,1 Ω.
459. 2000 Ω.
460. 7000 Ω.
461. 2400 Ω.
463. 8 mA; 0,768 W.
464. 0,01 V; 0,005 W.
465. En el segundo aparato.
466. 1200 pF.
467. 4800 pF.
468. 2 mH.

XV. Transformadores

469. 208,3 V.
470. 19,8 kW; 110 V.
472. 20; 11 V.
474. 15,8 A.
475. 0,372 A; 3,128 A.
476. 2664 V; 66,6 V; 30 espiras.
477. 1250; 25 000; 111 V.
479. 5 kW.
480. $I_1 = 11{,}25$ A; $I = 15$ A.
481. 54,3 A.
482. 35,43 mA.

XVI. Motores asincrónicos

486. 1440 r.p.m.
487. 53,04 kW.
488. 5200 W.
489. 12,5 Hz.
490. 32,8 A; 19 A.
491. 480 VA; 384 W.
493. 0,04.
494. 712,5 r.p.m.

XVII. Máquinas de corriente continua

498. 250 V.
499. 93,76 V; 50 Ω.
500. $I_{ex} = 0{,}95$ A; $I = 19{,}05$ A.
501. 20 A.
502. $U_{con} = 4{,}5$ V; $U = 105{,}5$ V; $U_0 = 7{,}5$ V; $E = 98$ V.
503. 31,2 A.
504. 0,83

SEGUNDA PARTE

XVIII. Movimiento de los electrones en un campo eléctrico y magnético

510. $32 \cdot 10^{-19}$ N.
511. 12 V/m.
512. $1{,}6 \cdot 10^{-14}$ N.
513. 0,1 m.
515. $4 \cdot 10^{-17}$ W·s.
516. 2000 V.
517. 6000 km/s.
518. 9000 km/s.
519. 25 V.
520. $640 \cdot 10^{-19}$ N.
521. 200 m/s.
522. 0,002 T.
524. $\approx 18°$.

XIX. Emisión electrónica y propiedades del cátodo

525. 14,4 mA.
527. 12,6 W.
528. 0,6 A.
529. 5,2 V.
530. 40 mA/cm^2.
532. 100 mA/cm^2; 400 mA/cm^2.
533. 0,8 cm^2.
534. 5,125 W/cm^2.
535. 3,92 W.
536. 44,1 mA/W.
537. 450 mA.
538. 7,28 mA/W.
539. 10 W/cm^2; 20 W/cm^2 y 70 W/cm^2.
540. *1*, cátodo; 2, aislador; 3, calefactor; 4, casquillo; 5, patilla de base.
542. 10,71 W.

XX. Tubos electrónicos

Diodo

544. 40 mA; 160 mA.
545. 15 V; 22 V.
548. 3 mA/V.
549. 18 mA.
550. 4 V.
551. 0,25 kΩ.
552. 5 mA/V.
553. 50 mA.
554. 192 V.
555. 6,25 W.
556. 2513 V.
557. 70 mA.

Triodo

559. 4 mA; 8 mA; 10 mA; 125 V; 225 V; 275 V.
562. 3,75 mA/V.
563. 10 kΩ.
564. 2 kΩ.
565. 16.
566. 11,9.
567. 12,8 mA.
569. 2 mA; 8 mA.
573. a) diodo-triodo doble.
b) triodo-pentodo.

XXI. Aparatos iónicos

575. *A*, punto de caldeo; sección *AB*, proceso de encendido; sección *BB*, régimen normal de la caída de cátodo.
576. 9 V.
579. 300 V.
580. 75 V; 150 V; 225 V.
582. 0,2.
583. 0,1.
584. 2.
587. 0,1 kΩ.
588. 300 V.
589. 17,5 mA.
590. 2000 Ω.
591. 484 V.
592. 1000 Ω.
596. *1*, tubo de vidrio; 2, filamento; 3, arrancador; 4, bobina de choque; 5, condensador.

XXII. Diodos semiconductores

599. Para TBC 25 mA/cm². Para ABC 30 mA/cm².
601. 12 Ω.
602. 3 Ω.
603. 0,06 A.
604. 25 kΩ.
605. 150 V.
606. 0,03 W.
607. 0,01 Ω.
608. 3 W.
610. 3 A/W
611. 25 A.
612. 4000.
613. 10 000.
614. 2400.

XXIII. Triodos semiconductores

615. a, con base común; *b*, con emisor común; c, con colector común.
618. 2000 Ω.
619. 51 V.
620. 0,9.
621. 180.
623. 20 kΩ.
624. 50 Ω.
625. 7,5.
626. 150.
627. 0,225 V.
629. 12,5 W.
630. 3 V.
631. 128.
632. ≈33,3.
633. 7.
634. ≈8,1.
635. ≈5,8.
636. 500.
637. 912.
638. 50 Ω.
639. 3000 Ω.

XXIV. Células fotoeléctricas

641. 2,5 A/W.
642. 160 μW.
643. 0,312 A.
645. 0,25 lm.
646. 160 μA.
650. 60 mA.
651. 90 V.
652. 0,1 lm.
653. 9000 Ω.
654. 0,4.
655. En $3 \cdot 10^4$ Ω; $2 \cdot 10^4$ Ω.
656. 4.
657. $0{,}4 \cdot 10^3$ Ω.
658. 0,4 V.
659. 2000 kΩ.
660. 250 μA.
661. 0,5 V.
663. 8.
664. 55 μA.

XXIV. Rectificación de corriente alterna

666. a, a media onda; b, a onda completa.
668. 0,078 A.
670. 0,1 A.
671. 10 W.
672. 0,6 A.
673. 13,86 W.
674. 106,6 W.
675. 1,147 A.
678. a) ≈70 mA; b) 17,5 W, c) 1,35 A, d) 8,5 W, e) 3,78 W.
680. 6 unidades.
681. Util, 280 mA.
682. 4.
683. 68,4 V.
684. 3,3 ≈ 4 unidades.
685. 3,4 ≈ 4 unidades.

XXVI. Amplificadores de baja frecuencia

687. 1900.
688. 0,05.
689. 24 V.
690. 50.
691. 750 mA.
692. 500.
693. 83 mW.
694. 1,18.
695. 28.
697. ≈85 V.
699. 90,7 Ω.
700. ≈74 V.
701. 1,6 W.
702. 75 Ω.
703. ≈0,6.
704. 37,5 W.
705. 26 W.
707. 25,4.
708. 5,5.
709. $\kappa_{общ}=1237$; $\kappa_{осн}=15$; $\kappa_{tot}=18562{,}5$.
710. 1,5 V.
711. 0,01 V.
712. 13,3.
713. 7,5 mA.
714. 10 000 Ω.
715. 420 V.
716. 240 kΩ.
717. 400 Ω.
718. ≈33,1 μF.
719. 16,6.
720. 0,357 V.
721. 74 μF.
723. 280 V.
724. 3,8 μF.
726. 82 mA.
727. ≈180 Ω.
728. 12.
729. a) 50 000 Ω, b) ≈17, c) 100 V, d) 1 V, e) por la característica $I_0=1$ mA; f) 140 V.

XXVII. Generadores de oscilaciones eléctricas

733. 185 W.
734. 20 W.
735. 2,24 W.
736. 25%.
737. 7,24 W.
738. 1600 V.
739. 0,3 A.
741. $2{,}10^{-4}$ H.
742. 555 μF.

XXVIII. Relés

743. a) contactos cerrados, b) contactos abiertos, c) contactos en conmutación.
744. a) contactos puntuales, b) contactos lineales, c) contactos de planicidad.
746. 0,001 seg.
747. 2 m s.
748. 5.
749. 40.
750. 1/3.
751. 0,8.
752. 14,7 G.
754. 0,00004 s.